

Modelação Computacional da Central Termoelétrica de Sines

Análise Exergética do Ciclo Térmico

Joaquim José Junqueira Teixeira Coelho de Melo

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Doutor Carlos Manuel Coutinho Tavares Pinho

Orientador na EDP: Eng. Simone Giangiacomo Preziati e Eng. João Manuel Cassiano



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Junho de 2015

Resumo

A constante melhoria e otimização dos processos térmicos envolventes nas centrais de produção de energia elétrica, de forma a superar os limites técnicos de funcionamento e as exigências ambientais impostas, constitui uma das principais missões do departamento de otimização e manutenção da EDP Produção, empresa na qual foi realizado este trabalho.

Nesse âmbito, este documento acompanha, o mais detalhadamente possível, todos os passos seguidos na construção de um modelo computacional da Central Termoelétrica de Sines, que foi possível obter com um grau de aproximação bastante elevado utilizando o programa Thermoflow 24.

Numa fase introdutória, é elaborada uma breve contextualização histórica do mercado mundial do carvão, na qual se destacam os principais países envolvidos, sendo também analisado o impacto que este combustível apresenta no mercado nacional. É ainda elaborada uma caracterização do carvão enquanto combustível fóssil, na qual se explica a sua formação, classificação, métodos de exploração e formas de transporte. Ainda no contexto do enquadramento do projeto é apresentado um capítulo descritivo da Central de Sines, com uma descrição técnica dos equipamentos principais que a constituem, assim como dos seus princípios básicos de funcionamento e operação.

Na fase final do trabalho, foi elaborada uma análise exergética do ciclo térmico, baseada nos resultados obtidos no modelo para uma simulação a um regime de carga nominal (314 MW), que serve de exemplo da aplicação do modelo ao estudo prático da central. A partir desta análise foi possível quantificar as irreversibilidades dos diversos equipamentos do ciclo térmico para um grupo da central, tendo sido observado que a caldeira é o principal foco de irreversibilidade do sistema. O rendimento exergético calculado foi de aproximadamente 35,6% e o rendimento elétrico obtido de 39,5%.

Foi ainda realizada, como forma de complemento ao trabalho, uma curva de irreversibilidade de um conjunto de válvulas de regulação de caudal de vapor à entrada da turbina de alta pressão ao longo do arranque do grupo 4 da central, utilizando os valores reais medidos na central e extraídos da plataforma de monitorização de dados em tempo real da EDP.

Com a realização deste trabalho foi possível concluir que o nível de desenvolvimento tecnológico na área da simulação computacional de ciclos térmicos já se encontra num patamar evolutivo tal que permite a construção de modelos virtuais com um grau de aproximação e fiabilidade extremamente elevados. Uma vez construídos, estes modelos permitem, de um forma muito flexível, a realização de estudos ou testes que nunca seria possível realizar diretamente no caso real, quer por indisponibilidade de informação, quer por limitações logísticas e temporais.

Sines Power Plant Computer Modelling and Exergetic Analysis of the Thermal Cycle

Abstract

The constant improvement and optimization of the thermal processes involved in the power plants, that pretend to overcome the technical limits of functioning and the environmental demands imposed, is one of the main missions of the department of optimization and maintenance of EDP Produção, where this work has been done.

So, this document tries to follow, in every detail, all the steps of the construction of a computational model of the Sines thermal power plant, which was possible to obtain with a very high degree of approximation thanks to the software Thermoflow 24.

In the introduction to this work, a brief historical contextualization of the world coal market is presented, stressing all main countries involved, and analyzing the impact of this fuel on Portuguese market. A characterization of the coal as a fossil fuel is also presented, with an explanation of its formation, classification, exploitation markets and means of transportation. Still in the context of the project framework, there is a chapter describing the Sines Power Plant, with a description of its main equipment and also of its basic principles of operation and activity.

In the final part of this work, there is an exergetic analysis of the thermal cycle, based on the results obtained by the model, for a simulation of the nominal charge (314 MW), that serves as an example of the application of the model to the practical study of the power plant. This analysis made it possible to quantify the irreversibilities of the various equipment of the thermal cycle, being observed that the boiler is the main focus of irreversibility of the system. The exergetic efficiency calculated was of, approximately, 35,6% and the electrical efficiency obtained was 39,5%.

As a complement to the work, a curve of irreversibility for a set of steam regulation valves at the entrance of the high pressure steam turbine at the start of group 4 of the power plant, using the real values measured at the power plant and extracted from the EDP real-time monitoring data platform.

With the development of this work it was possible to conclude that the level of technological development in the area of computational simulation of thermal cycles is already at such a stage of evolution that allows the construction of virtual models with an extremely high degree of approach and reliability. Once built, these models allow, with certain flexibility, the development of studies and tests that would never be possible to be done directly in real-case, whether for unavailability of information or for logistic and work time limitations.

Agradecimentos

Gostaria de deixar desde já os meus sinceros agradecimentos ao Professor Doutor Carlos Manuel Coutinho Tavares de Pinho, não só pelos vastos conhecimentos académicos que me foi transmitindo ao longo deste trabalho mas também pela constante disponibilidade, orientação e apoio que se revelaram fundamentais para a sua realização.

Ao meu orientador na EDP Produção, Eng. Simone Preziati e ao Eng. João Cassiano pelas horas passadas em ensinamentos e pelas longas discussões contra a termodinâmica.

Ao Eng. Rui Vilhena e a toda a equipa do OMOF e do SKIPPER que desde o primeiro dia de estágio se mostraram muito recetivos e prestáveis.

A todos os colaboradores da EDP com quem tive a possibilidade de contactar, em especial aos meus colegas estagiários que me acompanharam ao longo desta etapa sempre com simpatia e boa disposição, sem os quais este trabalho não seria possível.

À minha família, em particular ao meu pai, à minha mãe e ao meu irmão que me proporcionaram todos os meios necessários para seguir em frente nesta fase da vida e que tornaram a distância num obstáculo tão fácil de superar.

A todos os meus amigos e colegas da Academia.

A todos, muito obrigado.

Índice de Conteúdos

Acrónimos	x
Simbologia.....	xi
Índice de Figuras.....	xii
Índice de Tabelas	xv
1 Introdução	1
1.1 Notas introdutórias	1
1.2 Apresentação da empresa.....	1
2 Carvão: A caracterização do recurso.....	2
2.1 Introdução	2
2.2 Estudo do mercado.....	5
2.2.1 Mundo	5
2.2.2 Portugal.....	8
2.3 Carvão como combustível	10
2.3.1 Formação.....	10
2.3.2 Breve história do carvão	11
2.3.3 Tipos de carvão	12
2.3.3.1 Baixo teor energético	12
2.3.3.2 Alto teor energético.....	13
2.3.4 Disponibilidade geográfica.....	14
2.3.5 Métodos de exploração	15
2.3.5.1 Exploração em profundidade	15
2.3.5.2 Exploração à superfície	18
2.3.6 Transporte do carvão.....	20
3 Central termoelétrica de Sines.....	21
3.1 Centro de produção de Sines	22
3.2 Percurso do carvão	24
3.3 Ciclo Rankine regenerativo	25
3.4 Principais componentes do ciclo.....	26

3.4.1	GTA.....	26
3.4.1.1	Turbinas	27
3.4.1.2	Alternador	28
3.4.2	Permutadores de calor	28
3.4.2.1	Condensador	28
3.4.2.2	Pré-aquecedores	29
3.4.3	Grupo gerador de vapor	30
3.4.3.1	GGV (Caldeira)	30
3.4.4	Combustão.....	33
3.4.5	Transformadores.....	34
3.5	Sistemas auxiliares	35
3.6	Redução de emissões de poluentes.....	36
3.6.1	Redução de NOx	37
3.6.2	Desnitrificação	37
3.6.3	Dessulfuração	39
4	Modelação Termodinâmica da Central de Sines	41
4.1	Thermoflow 24	42
4.2	Metodologia de modelação utilizada.....	44
4.3	Construção e validação do modelo.....	45
4.3.1	Construção do modelo da central para carga nominal (STEAM PRO)	46
4.3.2	Modelação em Off-Design e controlo (STEAM MASTER)	53
4.3.3	Validação do modelo com os dados medidos na instalação (SKIPPER)	57
4.3.3.1	Escolha de um período temporal de avaliação da central.....	58
4.3.3.2	Levantamento da informação necessária do skipper	61
4.3.3.3	Comparação dos dados medidos com os resultados do modelo e realização de ajustes	63
5	Análise Exergética do Ciclo Térmico	72
5.1	Exergia	73
5.2	Análise exergética.....	76
5.2.1	Ambiente	76
5.2.2	Turbinas	76

5.2.3	Permutadores de calor	80
5.2.4	Caldeira.....	85
5.2.5	Sistemas auxiliares	89
5.3	Resumo.....	91
5.4	Determinação da curva de irreversibilidade do sistema de admissão de vapor da turbina de alta pressão durante o arranque do grupo 4	93
6	Conclusões e perspectivas de trabalho futuro.....	99
	Referências	101
	Anexo A: Central Termoelétrica de Sines	103
	Anexo B: Modelação Termodinâmica da Central de Sines	109
	Anexo C: Análise Exergética do Ciclo Térmico	117

Acrónimos

AP6 – Pré-aquecedor de alta pressão 6
AP7 – Pré-aquecedor de alta pressão 7
BAE – Bombas de Acionamento Elétrico
BFPT – *Boiler Feedpump Pressure Turbine*
BOFA – *Booster Over Fire Air*
BP – *British Petroleum*
BP1 – Pré-aquecedor de baixa pressão 1
BP2 – Pré-aquecedor de baixa pressão 2
BP3 – Pré-aquecedor de baixa pressão 3
BP4 – Pré-aquecedor de baixa pressão 4
CCGT – *Combined Cycle Gas Turbine*
CCS – *Carbon Capture and Storage*
DCS – *Distributed Control System*
ESP – *Eletrostatic Precipitator*
FGD – *Flue-Gas Desulfuration*
GGV – Grupo Geração Vapor
GSC – *Gland Steam Condenser*
GTA – Grupo Turbina Alternador
HPT – *High Pressure Turbine*
IEA – *International Energy Agency*
LPT – *Low Pressure Turbine*
MPT – *Medium Pressure Turbine*
OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
ODAF – Óleo Dirigido e Ar forçado
OFA – *Over Fire Air*
SCR – *Selective Catalytic Reduction*
VAP – Ventiladores de Ar Primário
VAS – Ventiladores de Ar Secundário
WCI – *World Coal Institute*

Simbologia

Símbolo	Descrição	Unidade
\dot{E}	Potência exergética	[kW]
\dot{I}	Potência irreversível	[kW]
\dot{Q}	Potência calorífica	[kW]
T_i	Temperatura	[°C]
\dot{W}	Potência trabalho	[kW]
S_i	Entropia no ponto i	[kJ/kgK]
H_i	Entalpia no ponto i	[kJ/kg]
T_a	Temperatura do estado de referência	[°C]
H_a	Entalpia do estado de referência	[kJ/kg]
S_a	Entropia do estado de referência	[kJ/kgK]
\dot{E}^f	Potência exergética física	[kW]
\dot{E}^q	Potência exergética química	[kW]
Y_i	Percentagem mássica do componente i	[%]
ε_o	Exergia química específica	[kJ/kg]
$(PCI)_s$	Poder calorífico inferior do combustível no estado seco	[kJ/kg]
PCI_{comb}	Poder calorífico inferior do combustível	[kJ/kg]
β_1	Constante	-
η_{ex}^f	Rendimento exergético fundamental	[%]
η_{ex}^r	Rendimento exergético racional	[%]
k	Coentalpia	[kJ/kg]
\dot{m}_i	Caudal no ponto i	[kg/s]

Índice de Figuras

Figura 1 – Consumo de energia primária a nível mundial por tipo em 1973 e 2012, (IEA, 2014).....	2
Figura 2 - Produção de carvão de 1971 a 2013 por região.	3
Figura 3 – Produção de energia elétrica a nível mundial por recurso em 1973 e 2012, (IEA,2014).....	4
Figura 4 – Evolução da exportação de carvão da Indonésia por destino, 2000-2012, (IEA,2013).....	7
Figura 5 – Energia primária total consumida em Portugal por tipo, (IEA, 2014).	8
Figura 6 – Produção de energia elétrica em Portugal por recurso.....	9
Figura 7 – Distribuição das reservas mundiais de carvão.	14
Figura 8 – Rácio Reserva/Produção (anos), (BP, 2004).....	14
Figura 9 – Exploração de carvão em profundidade, (WCI, 2005).	17
Figura 10 – Exploração de carvão à superfície, (WCI, 2005).	19
Figura 11 – Fotografia aérea do centro de produção de Sines, (EDP Produção, 2015).	22
Figura 12 – Diagrama da distribuição da energia ao longo do ciclo da central, (EDP Produção, 2015).....	23
Figura 13 – Esquema representativo do sistema de transporte e movimentação de carvão da central, (Wikienergia, 2015).....	24
Figura 14 – Esquema ilustrativo de um grupo da central, (EDP Produção, 2015).....	25
Figura 15 – Diagrama do ciclo água-vapor de um grupo da central, (Alstom, 2005).....	26
Figura 16 – Conjunto turbinas alternador do grupo 1 da central, (EDP Produção, 2015).	27
Figura 17 – Esquema de corte do conjunto de turbinas de um grupo da central.....	27
Figura 18 – Fotografia ao condensador do grupo 1 da central, (EDP Produção, 2015).....	28
Figura 19 – Esquema de corte de um pré-aquecedor da central, (SEFLOR, 1990).	29
Figura 20 – Esquema de corte da caldeira.	31
Figura 21 – Projecção isométrica de uma caldeira típica de uma central térmica de carvão, (SEFLOR,1990).....	32
Figura 22 – Fotografia de um transformador trifásico principal, (EDP Produção, 2015).	34
Figura 23 – Esquema representativo do sistema turbo-bomba.	35
Figura 24 – Esquema tridimensional de projeto do sistema de desnitrificação, (EDP Produção, 2015).....	37
Figura 25 – À esquerda um esquema representativo do funcionamento do sistema de desnitrificação, à direita um catalisador, (EDP Produção, 2015).....	38
Figura 26 – Representação de um sistema de dessulfuração.....	39
Figura 27 – Fotografia do filtro de vácuo do sistema de aproveitamento de gesso.	40
Figura 28 – Metodologias de modelação sugeridas pelo programa.	44
Figura 29 – Sequência da modelação da central de Sines.	45

Figura 30 – Janela de caraterização das turbinas - <i>Steam Pro</i>	46
Figura 31 – Janela de caraterização das turbinas - <i>Steam Pro</i>	47
Figura 32 – Janela de caraterização do condensador - <i>Steam Pro</i>	47
Figura 33 – Janela de caraterização do condensador - <i>Steam Pro</i>	48
Figura 34 – Diagrama $h-s$ da expansão do vapor, resultado da simulação - <i>Steam Pro</i>	50
Figura 35 – Resultados gerais da simulação - <i>Steam Pro</i>	51
Figura 36 – Janela de caracterização geral da caldeira - <i>Steam Master</i>	54
Figura 37 – Janela de caracterização dos componentes da caldeira - <i>Steam Master</i>	54
Figura 38 – Janela de caracterização do sistema de pulverização do carvão - <i>Steam Master</i> . .	55
Figura 39 – Representação gráfica dos resultados da caldeira da simulação - <i>Steam Master</i> . .	55
Figura 40 – Representação gráfica geral dos resultados da simulação – <i>Steam Master</i>	56
Figura 41 – Janela do <i>Skipper</i> com cista geral do grupo.	57
Figura 42 – Janela do <i>Skipper</i> posto de água do grupo 1 da central.....	58
Figura 43 – Histórico da potência bruta de um grupo da central (8/04/15 – 23/04/15).	59
Figura 44 – Histórico da potência bruta de um grupo da central (16/04/15 – 18/04/15).	59
Figura 45 – Período de 1 hora selecionado (16/04/15 3:30:00 – 4:30:00).	60
Figura 46 – Janela <i>Excel</i> para o levantamento de informação do <i>Skipper</i>	61
Figura 47 – Representação gráfica dos valores retirados do <i>Skipper</i> (16/04/15).	62
Figura 48 – Representação gráfica dos resultados da caldeira da simulação para carga nominal - <i>Steam Master</i>	63
Figura 49 – Representação gráfica geral dos resultados da simulação para carga nominal – <i>Steam Master</i>	64
Figura 50 – Representação gráfica dos resultados da caldeira da simulação para carga mínima - <i>Steam Master</i>	67
Figura 51 – Representação gráfica geral dos resultados da simulação para carga mínima – <i>Steam Master</i>	68
Figura 52 – Caracterização dos andares de expansão das turbinas segundo o programa.....	76
Figura 53 – Representação esquemática do balanço exergético a ter em conta num andar de expansão, sistema considerado adiabático.....	77
Figura 54 – Representação gráfica das irreversibilidades do subsistema turbinas dividida por turbinas e andares (Gr.) de expansão.....	79
Figura 55 – Representação esquemática de um pré aquecedor.	80
Figura 56 – Representação gráfica das irreversibilidades do subsistema permutadores dividida por componente.	84
Figura 57 – Representação do subsistema caldeira.	85
Figura 58 – Principais sistemas auxiliares presentes no ciclo água-vapor.	89
Figura 59 – Representação gráfica das irreversibilidades do subsistema sistemas auxiliares dividida por componente	90

Figura 60 – Representação gráfica das irreversibilidades do ciclo por subsistema.....	91
Figura 61 – Representação gráfica das irreversibilidades do ciclo com destaque para o condensador.	92
Figura 62 – Vista frontal da turbina de alta pressão.	93
Figura 63 – Vista de corte da roda de ação, alimentação das quatro válvulas de regulação.	94
Figura 64 – Curva de potência.....	95
Figura 65 – Curvas de pressão e temperatura na admissão de vapor e pressão na extração.	95
Figura 66 – Curvas de abertura das válvulas de regulação.....	96
Figura 67 – Curvas de pressão das válvulas de regulação.....	96
Figura 68 – Curva de irreversibilidade do sistema de admissão de vapor e curva de potência.....	97
Figura 69 – Porto de Sines, percurso do carvão até a central.	103
Figura 70 – Parque de carvão.	103
Figura 71 – Máquina de empilhamento.	104
Figura 72 – Máquina de retoma do carvão.	104
Figura 73 – Tapete transportador de carvão.	105
Figura 74 – Moinhos de carvão.	105
Figura 75 – Vista exterior dos absorvedores.	106
Figura 76 – Vista exterior dos precipitadores eletrostáticos.....	106
Figura 77 – Vista aérea da bacia de adução e dos canais de rejeição de água do mar.	107
Figura 78 – Bacia de adução de água do mar.	107
Figura 79 – Canal de rejeição de água do mar.	108
Figura 80 – Sala de comando da central.....	108
Figura 81 – Balanço térmico do circuito água-vapor, (Alstom, 2005).....	109
Figura 82 – Balanço térmico do circuito água-vapor/gases, (Alstom, 2005).	110
Figura 83 – Janela de caracterização geográfica e do combustível – <i>Steam Pro</i>	111
Figura 84 – Janela de caracterização dos pré-aquecedores – <i>Steam Pro</i>	111
Figura 85 – Resultado da análise de primeira lei da simulação – <i>Steam Pro</i>	112
Figura 86 – Caracterização do funcionamento da bomba de alimentação da caldeira – <i>Steam Pro</i>	112
Figura 87 – Histórico da potência bruta de um grupo da central (16/04/15).	113
Figura 88 – Histórico da potência bruta de um grupo da central (16/04/15 02:00:00 – 07:00:00).....	113
Figura 89 – Histórico da potência bruta de um grupo da central (16/04/15 03:30:00 – 04:30:00).....	114
Figura 90 – Representação gráfica dos valores retirados do <i>Skipper</i> (17/05/15).	115
Figura 91 – Representação gráfica dos valores retirados do <i>Skipper</i> (16/11/14).	116

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Principais países produtores de carvão, (IEA, 2014).	3
Tabela 2 - Principais países exportadores e importadores de carvão, (IEA, 2014).	4
Tabela 3 - Procura do carvão no mundo, (IEA, 2013).	6
Tabela 4 - Documentos de origem das propriedades de funcionamento introduzidas no <i>Steam Pro</i>	49
Tabela 5 - Comparação dos resultados do <i>Steam Pro</i> com os valores do balanço térmico.....	52
Tabela 6 - Comparação dos resultados obtidos no <i>Steam Master</i> para a carga nominal com os do <i>Skipper</i> (geral).	65
Tabela 7 - Comparação dos resultados obtidos no <i>Steam Master</i> para carga nominal com os do <i>Skipper</i> (turbina e permutadores).	65
Tabela 8 - Comparação dos resultados obtidos no <i>Steam Master</i> para carga nominal com os do <i>Skipper</i> (caldeira).	66
Tabela 9 - Comparação dos resultados obtidos no <i>Steam Master</i> para a carga mínima com os do <i>Skipper</i> (geral).	69
Tabela 10 - Comparação dos resultados obtidos no <i>Steam Master</i> para carga mínima com os do <i>Skipper</i> (turbina e permutadores).	69
Tabela 11 - Comparação dos resultados obtidos no <i>Steam Master</i> para carga nominal com os do <i>Skipper</i> (caldeira).	70
Tabela 12 - Resultados obtidos para o subsistema turbinas.	79
Tabela 13 - Valores do calor libertado por equipamento.	81
Tabela 14 - Resultados obtidos para o subsistema permutadores.	83
Tabela 15 - Propriedades do carvão utilizado na central de Sines.	86
Tabela 16 - Resultados obtidos para o subsistema caldeira.....	87
Tabela 17 - Resultados obtidos para o subsistema sistemas auxiliares.	90
Tabela 18 - Valores de irreversibilidade obtidos por subsistema.....	91
Tabela 19 - Resultados importados do <i>Steam Pro</i> para o subsistema turbinas.	117
Tabela 20 - Resultados importados do <i>Steam Pro</i> para o subsistema permutadores.	119
Tabela 21 - Resultados importados do <i>Steam Pro</i> para o subsistema caldeira.....	122
Tabela 22 - Resultados importados do <i>Steam Pro</i> para o subsistema sistemas auxiliares.	124
Tabela 23 - Resultados obtidos utilizados para a construção da curva de irreversibilidade do sistema de admissão HPT.	126

Introdução

1.1 Notas introdutórias

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular Dissertação, parte integrante do plano de estudos do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, durante o segundo semestre do ano letivo 2014/2015. Ocorreu em ambiente empresarial por meio de um estágio curricular com duração de 5 meses realizado nas instalações da EDP Produção em Lisboa, no departamento de otimização e flexibilidade (OMOF) pertencente à direção de otimização e manutenção (DOM).

Em determinadas situações ao longo do trabalho, foi observada uma diferença de terminologia entre o ambiente académico e o ambiente empresarial, pelo que ao longo deste trabalho, apesar de se dar ênfase à terminologia académica, são também utilizados com alguma frequência termos próprios da empresa ou dos fabricantes dos equipamentos tratados de forma a manter a fluência e a coerência do texto exposto.

O separador decimal utilizado como padrão foi a vírgula decimal; no entanto dada a natureza anglo-saxónica de alguns programas utilizados no decorrer do projeto, algumas figuras daqui retiradas poderão conter o ponto como separador decimal.

Todos os valores de pressão incluídos neste trabalho referem-se a valores de pressão absoluta.

1.2 Apresentação da empresa

A EDP - Energias de Portugal, S.A. é uma empresa do setor energético líder na produção, distribuição e comercialização de eletricidade e gás. Foi fundada em 1976, após a fusão de 13 empresas que tinham sido nacionalizadas.

A nível de negócios a EDP está organizada em EDP Península Ibérica, EDP Renováveis e EDP Brasil, estando presente em quatro continentes: Europa, Ásia, América e África. Está entre os maiores operadores da Península Ibérica e é o 3.º maior produtor mundial de energia eólica. Desenvolve parques eólicos desde 1996, tendo cerca de 35.

Detém 12 centrais termoelétricas alimentadas a gasóleo, gás natural, biomassa e fuelóleo e carvão. Sendo este último caso o da Central de Sines, estudada neste trabalho.

Ao longo da sua existência tem assumido a defesa de valores como a sustentabilidade, a preocupação com o ambiente e a defesa do património, assim como a transparência nos negócios e a preocupação com os consumidores que a tornam uma empresa de renome (EDP, 2015).

2 Carvão: A caracterização do recurso

O carvão é um combustível de origem fóssil que desempenha nos dias que correm um papel essencial no panorama mundial do sector energético. De facto, a sua enorme abundância no planeta e o seu baixo custo de exploração em relação ao poder calorífico que apresenta constituem as principais vantagens da utilização deste combustível e explicam o seu baixo preço no mercado relativamente aos seus concorrentes petróleo e gás natural.

2.1 Introdução

Em 2012 cerca de 29% da energia primária consumida a nível mundial teve origem no carvão, sendo que este valor tinha sido de 24,6% em 1973 (-4,4%) (IEA, 2014). Esta evolução sugere um aumento da exploração do carvão e um crescente interesse dos principais países exploradores deste recurso em investir neste ramo de negócio, apenas ultrapassado pelo crescimento da utilização do gás natural durante este período (+5,3%) (Figura 1).

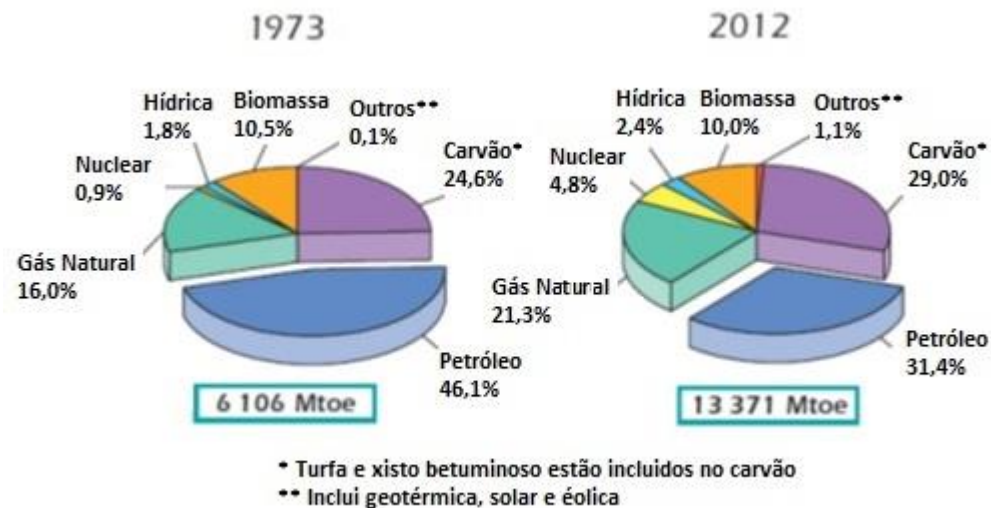


Figura 1 – Consumo de energia primária a nível mundial por tipo em 1973 e 2012, (IEA, 2014).

Apesar da crescente produção e consumo do carvão a nível mundial dos últimos 40 anos, este crescimento não se tem vindo a mostrar homogéneo. Verificou-se a partir do início do século XXI uma explosão na produção e consumo deste combustível nos países asiáticos com especial ênfase para a China, que deteve no ano de 2013 cerca de 45,5% da produção mundial de carvão. Em contrapartida, os países da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico), apesar de terem apresentado um nível de produção mais ou menos constante ao longo deste período (≈ 1500 Mt/ano), decresceram em cerca de 30% na sua representação mundial da produção do carvão (Figura 2).

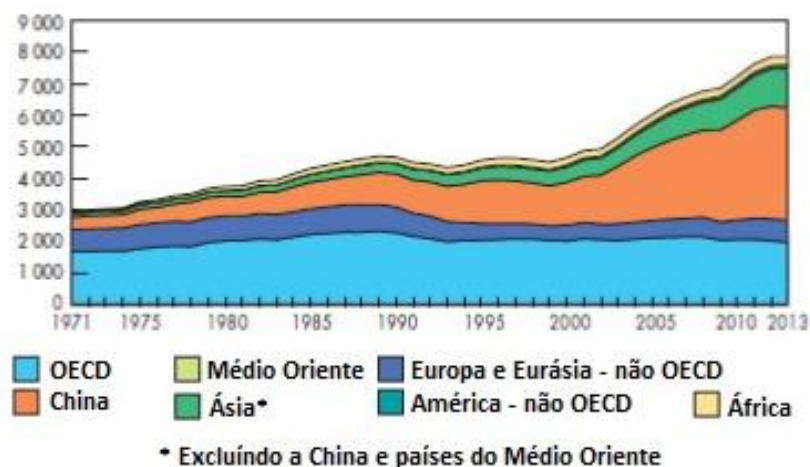


Figura 2 - Produção de carvão de 1971 a 2013 por região.

Desta forma, e como se pode verificar na Tabela 1, os principais países produtores de carvão em 2013 foram a China (45,5%), os Estados Unidos da América (11,6%) e a Índia (7,8%). Na Tabela 2 apresentam-se ainda os principais exportadores mundiais deste combustível para 2013, destacando-se a Indonésia com 426 Mt de carvão, a Austrália com 336 Mt e em terceiro lugar a Rússia com 114Mt de carvão exportado no ano de 2013 assim como os principais importadores, China, Japão, Índia e Coreia do Sul. Uma análise mais detalhada sobre estes países será incluída na secção seguinte deste capítulo, onde se faz a análise do mercado mundial e nacional deste recurso.

Tabela 1 - Principais países produtores de carvão, (IEA, 2014).

Produtores	Mt	% Total mundial
Rep. Democrática da China	3561	45,5
EUA	904	11,6
Índia	613	7,8
Indonésia	489	6,3
Austrália	459	5,9
Federação Russa	347	4,4
África do Sul	256	3,3
Alemanha	191	2,4
Polónia	143	1,8
Cazaquistão	120	1,5
Resto do mundo	740	9,5
Mundo	7823	100

Tabela 2 - Principais países exportadores e importadores de carvão, (IEA, 2014).

Exportadores	Mt	Importadores	Mt
Indonésia	426	Rep. Democrática da China	320
Austrália	336	Japão	196
Federação Russa	114	Índia	178
EUA	99	Coreia do Sul	127
Colômbia	74	Taipei	68
África do Sul	69	Alemanha	50
Cazaquistão	32	Reino Unido	49
Canadá	28	Turquia	28
Mongólia	17	Malásia	23
Coreia do Norte	16	Itália	20
Outros	26	Outros	211
Total	1237	Total	1270

É importante salientar que atualmente, a grande maioria do carvão explorado é utilizada para produção de energia elétrica, sendo que apenas uma pequena parte é empregue nos restantes sectores de atividade como indústria, transportes ou utilização doméstica (IEA, 2014). A nível da produção mundial de energia elétrica, verifica-se que, em 2012, 40,4% foi obtida a partir de centrais térmicas alimentadas com carvão, sendo quase o dobro da produzida a partir do gás natural e 2,5 vezes superior à produzida através de recursos hídricos (Figura 3).

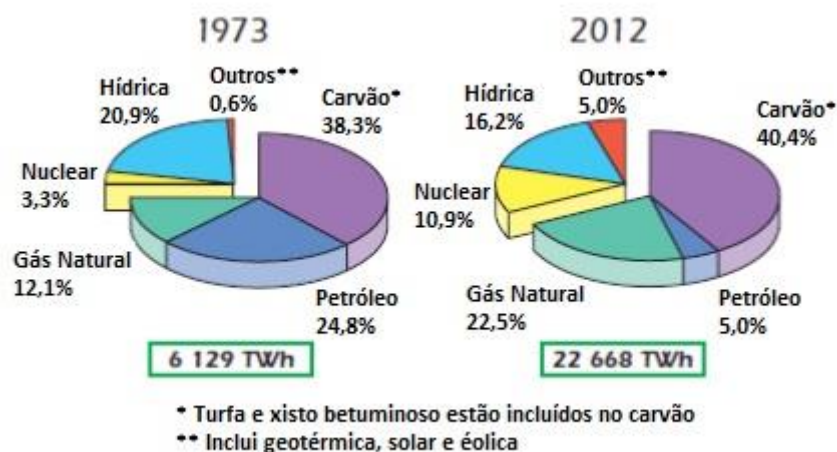


Figura 3 – Produção de energia elétrica a nível mundial por recurso em 1973 e 2012, (IEA,2014).

A maior desvantagem da utilização do carvão para produção de energia elétrica está no elevado nível de emissões de gases prejudiciais à atmosfera que são libertados após a sua combustão. Nesse sentido, a comunidade científica e os tecnólogos têm vindo a desenvolver um constante trabalho de investigação e a promover uma evolução tecnológica para sua redução. Paralelamente, as medidas legislativas de limitação da concentração destes gases libertados na atmosfera têm-se mostrado também cada vez mais exigentes.

O estudo, implementação e otimização de tecnologias redutoras das emissões de NO_x e mercúrio, controlo de emissão de óxidos de enxofre por FGD (*Flue-Gas Desulfuration*) e mais recentemente a tecnologia de separação, transporte do CO₂ proveniente dos gases de exaustão e posterior armazenamento no subsolo terrestre (*CCS-Carbon Capture and Storage*), tem vindo a ser intensificado de forma a reduzir o impacto ambiental que a exploração do carvão impõe ao planeta. Estudos mostram que algumas destas tecnologias reduzem atualmente em mais de 99% as emissões dos gases poluentes (MIT, 2007). Algumas tecnologias deste tipo serão detalhadas no capítulo seguinte, destinado à caracterização da central termoelétrica em estudo.

2.2 Estudo do mercado

O presente subcapítulo contém uma breve descrição sobre o estado atual do mercado do carvão, tendo por base os trabalhos da Agência Internacional da Energia (IEA, 2011; IEA, 2013; IEA, 2014), salientando os países que detêm o maior poder económico neste mercado e realçando as principais trocas comerciais que se verificam a nível mundial, assim como um breve destaque para os principais países exportadores e importadores deste recurso energético. Posteriormente, procurou-se fazer um resumo do ponto da situação no que concerne às transações e consumo do carvão em Portugal.

2.2.1 Mundo

De acordo com IEA (2013), o carvão foi o combustível fóssil com o crescimento mais acentuado no ano de 2012. Como já foi referido anteriormente, aproximadamente 29% da energia primária que foi consumida à escala mundial neste ano deriva do carvão, fortalecendo assim a segunda posição no ranking dos tipos de energia primária mais consumidos a nível mundial, imediatamente atrás do petróleo. No entanto, e apesar do seu consumo ter subido 2,3% de 2011 para 2012, é importante referir que esta subida foi a terceira mais baixa dos últimos dez anos, facto que, segundo o mesmo relatório pode ser explicado por dois motivos relacionados com a alteração da procura deste combustível por parte dos dois principais países dominadores deste mercado. Por um lado, os EUA que decresceram significativamente a sua procura (-10,7%), por razões possivelmente relacionadas com a descoberta e o investimento no gás de xisto. Pelo outro lado, a China, que desde 1987 é o principal consumidor de carvão, de um ano para o outro baixou a sua taxa de crescimento do consumo do carvão em 4,7%.

Não obstante esta situação atípica que se verificou em 2012, e que pode servir de exemplo ilustrativo de como o mercado deste combustível (tal como dos outros) é efetivamente flutuante e poderá sofrer alterações inesperadas que mudem, de forma significativa, a projeção deste combustível no mundo, pode-se concluir que este mercado está dominado essencialmente pela China, que tem sido o grande responsável pelo crescimento do consumo do carvão a nível mundial. Em termos energéticos, a China sozinha consumiu no ano de 2012 mais carvão do que todos os restantes países juntos, ou visto de outra forma, o

consumo de carvão em 2012, tanto para produção de energia e calor como para a indústria na China, foi equivalente à procura deste minério pelos EUA desde 2009, Japão desde 1993 e pela Alemanha desde 1990 (IEA, 2013).

Como se pode observar na Tabela 3, o carvão está a ser maioritariamente explorado pelos países não pertencentes à OCDE, evidenciando-se o aumento do desinteresse neste combustível por parte dos países da OCDE tais como os EUA e países da União Europeia, que cada vez mais reforçam as políticas de preferência aos recursos renováveis e redução de emissões de poluentes para o ambiente.

Tabela 3 - Procura do carvão no mundo, (IEA, 2013).

	Procura total de carvão (Mt) 2011	Procura total de carvão (Mt) 2012 ¹	Crescimento absoluto (Mt) 2011-12	Crescimento relativo (Mt) 2011-12	CAGR ² (% por ano) 2002-11	Procura relativa (%)
China	3514	3678	165	4,7	9,8%	47,8%
EUA	920	822	-96	-10,7	-0,4%	10,7%
Índia	710	753	43	6,1	6,8%	9,8%
Federação Russa	225	251	26	11,7	0,1%	3,3%
Alemanha	235	241	7	2,9	-0,4%	3,1%
União Europeia	771	783	12	1,5	-0,7%	10,2%
OCDE	2240	2169	-70	-3,1	0,0%	28,2%
Não-OCDE	5287	5527	241	4,6	7,4%	71,8%
Mundo	7527	7697	170	2,3	5,1%	100%

Ao nível das transações comerciais do carvão que se têm verificado nos últimos anos, a Indonésia destaca-se como principal exportador deste recurso em 2012, que ultrapassou neste ano a Austrália, passando para o topo das exportações mundiais com 383 Mt de carvão exportado. Na Figura 4 verifica-se que em 12 anos, as exportações aumentaram 800% na Indonésia, sendo os seus principais compradores a China, Índia e a Coreia do Sul. É no entanto importante referir que, segundo a IEA (2013) o carvão produzido na Indonésia apresenta um grau de humidade elevado sendo por isso considerado um carvão de qualidade inferior e que, por isso, apresenta um preço mais acessível no mercado, o que pode justificar o crescimento que obteve nos últimos anos.

¹ Valor estimado

² Compound Annual Growth Rate

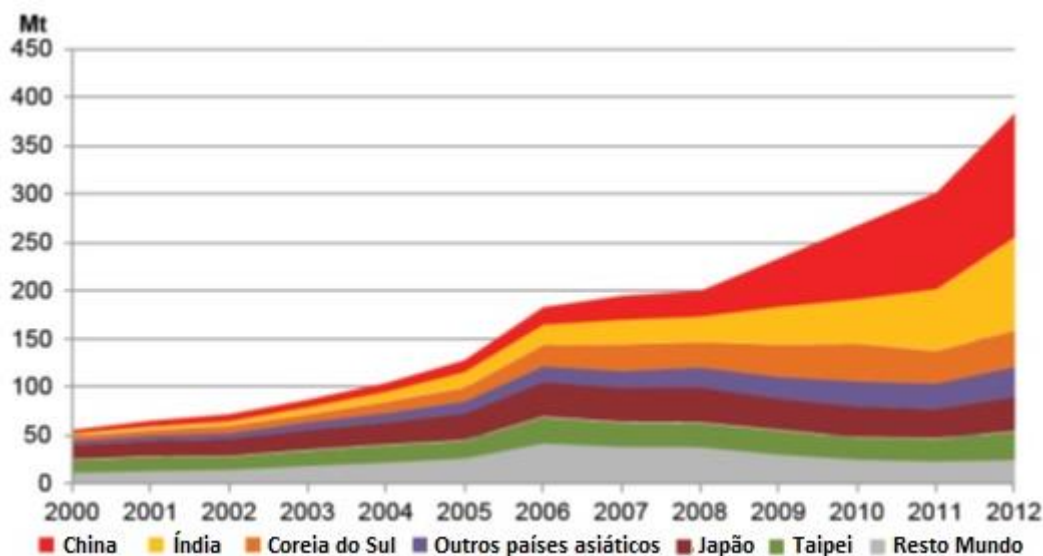


Figura 4 – Evolução da exportação de carvão da Indonésia por destino, 2000-2012, (IEA,2013).

O segundo maior exportador de carvão a nível mundial é a Austrália que depois de ter sido ultrapassada pela Indonésia em termos da tonelagem de carvão exportado em 2011 voltou a ser ultrapassada pelo mesmo país em 2012, agora em termos de conteúdo energético. No entanto, a Austrália continua a ser o principal exportador mundial de carvão metalúrgico sendo o seu principal destino a China, com 20% do mercado australiano do carvão. No terceiro lugar dos países exportadores deste combustível está a Rússia que, nos últimos anos, tem vindo a apostar no mercado asiático em detrimento do mercado europeu e americano que, como já referido, têm vindo a baixar o nível de importações deste recurso.

Como principal importador do carvão tem-se a China que em 2012 importou 301 Mt deste minério, batendo o recorde de maior quantidade de carvão alguma vez importado num ano. Dados preliminares da IEA (2013) indicavam que a importação continuaria a crescer em 2013, no entanto a uma taxa inferior. Importa ainda salientar que apesar da grande quantidade de carvão importado, este representa apenas uma pequena parte de todo o carvão gerido pela China. Os seus principais fornecedores são a Indonésia, a Austrália e a Rússia, não acidentalmente os três maiores exportadores de carvão já referidos.

Enquanto a China detém de uma fatia de 24% das importações mundiais de carvão, o Japão assume o segundo lugar com 184 Mt. Isto deve-se ao facto de este país não ter praticamente recursos de carvão e, por isso, depender inteiramente das transações marítimas que faz com a Austrália, Indonésia, Rússia, Canadá e EUA. A procura deste recurso tem aumentado significativamente neste país, principalmente depois do grande terramoto que ocorreu na Costa Este em Março de 2011. Também a Índia tem vindo a expressar-se a nível mundial em termos de importação de carvão, com um total de 160 Mt em 2012, sendo os seus principais fornecedores a Indonésia, a Austrália e a África do Sul, que têm vindo a beneficiar com estas negociações dados os baixos custos de transporte que conseguem comparativamente a outras rotas comerciais que teriam de ser usadas por outros fornecedores de carvão.

2.2.2 Portugal

Em Portugal, as fontes renováveis têm atualmente um peso maioritário na produção de energia elétrica sendo que se trata de um país repleto de recursos renováveis e que tem vindo a apostar fortemente no desenvolvimento deste setor. No entanto, Portugal depende ainda significativamente dos combustíveis fósseis, tanto a nível de produção de energia elétrica e de calor como nos outros setores de atividade, como os transportes e a indústria, que constituem o seu maior consumo (IEA, 2011). Uma vez que praticamente não dispõe de recursos fósseis, o mercado português assenta basicamente na importação de petróleo, gás natural e carvão, sendo o primeiro o grande dominador das importações nacionais. Como se pode verificar na Figura 5, retirada de um estudo realizado em 2014 (IEA, 2014), o petróleo tem vindo a constituir o maior recurso de energia primária em Portugal; no entanto, e seguindo a tendência europeia, a percentagem tem vindo a diminuir desde meados de 2005 sendo compensada pelo crescente investimento no gás natural e energias renováveis. O carvão, que se utiliza quase exclusivamente para produção de energia elétrica e que teve o seu pico de importação no final dos anos 90, teve uma queda não muito acentuada ao longo da primeira década do século XXI, no entanto, as estatísticas mais atuais (IEA, 2014) revelam o seu aumento nos últimos 5 anos (Figura 6).

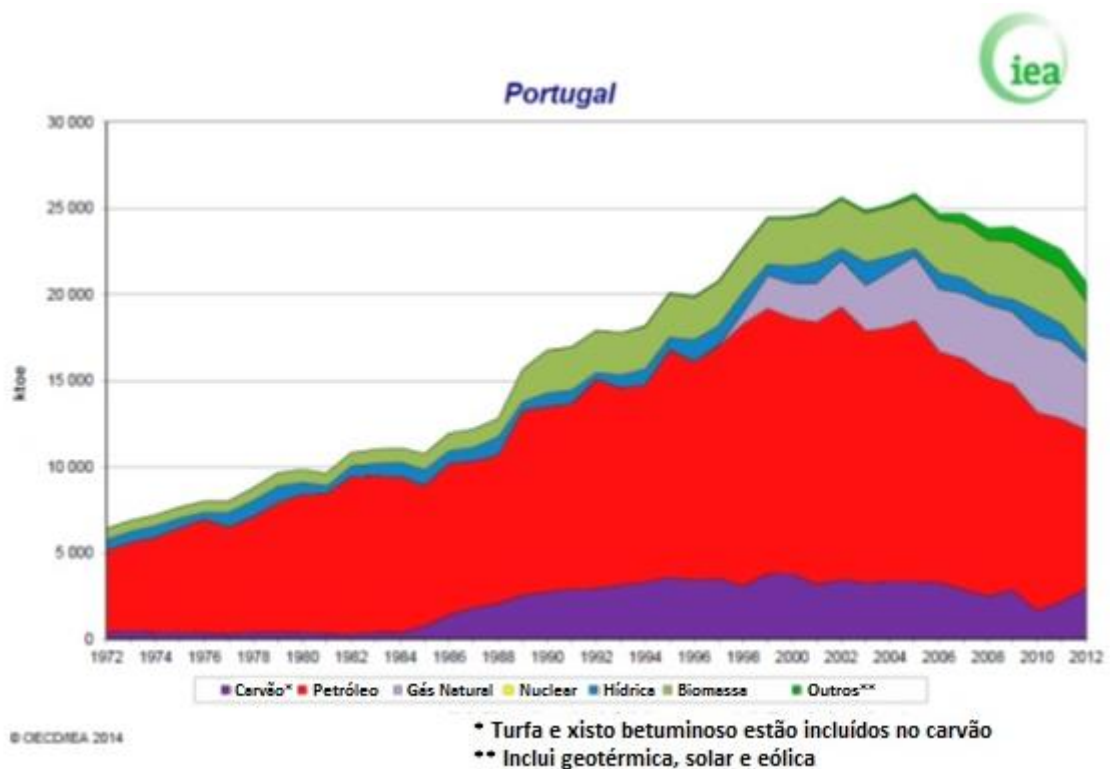


Figura 5 – Energia primária total consumida em Portugal por tipo, (IEA, 2014).

No âmbito da produção elétrica, Portugal tem seguido a política europeia no sentido de baixar os níveis de impacto ambiental. Como se pode verificar, o petróleo teve uma forte redução no panorama de produção de eletricidade nacional resultante principalmente do descomissionamento das centrais a fuel do Carregado (750 MW) em 2011 e de Setúbal (1000 MW) em 2012. Em contrapartida, assiste-se, no mesmo período, ao investimento em novas unidades hídricas e reforço de potência tais como Venda Nova III e Salomonde II. Também se verifica o incentivo na construção de centrais de ciclo combinado (CCGT), planeadas até 2015, que vieram aumentar a capacidade instalada de produção de eletricidade por parte desta tecnologia em 3320 MW (IEA, 2009).

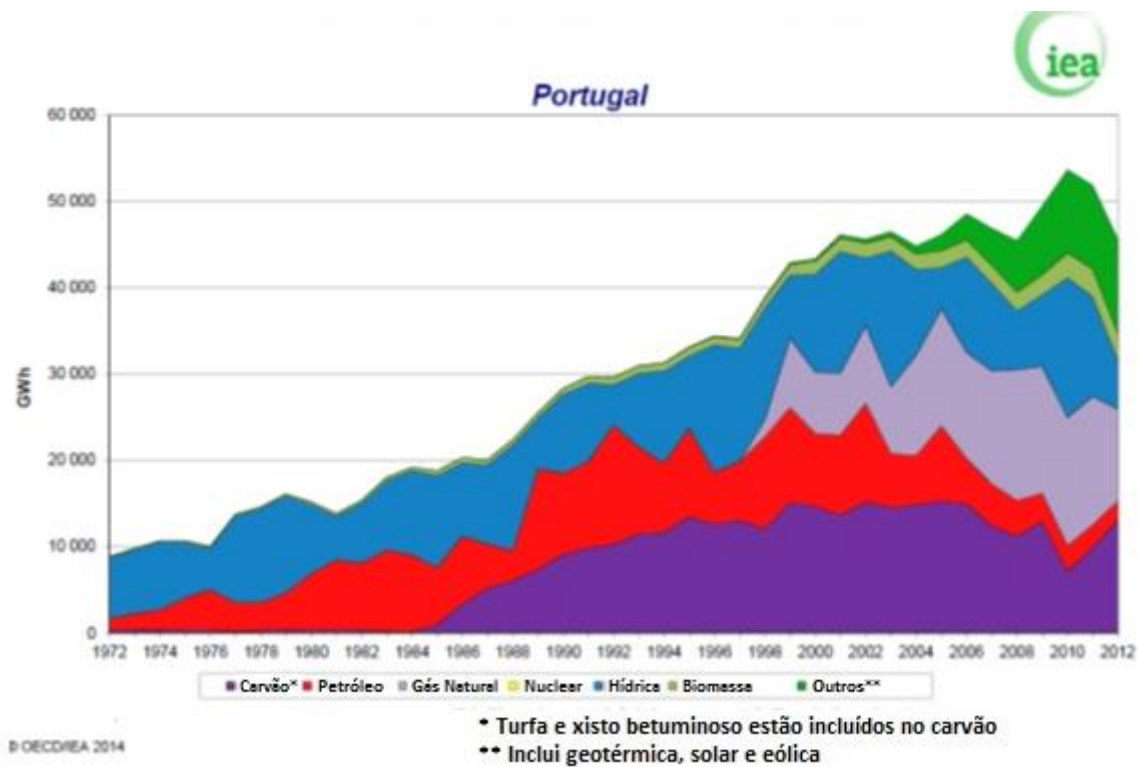


Figura 6 – Produção de energia elétrica em Portugal por recurso.

2.3 Carvão como combustível

2.3.1 Formação

O carvão foi possivelmente o primeiro combustível de origem fóssil utilizado pelo Homem, tendo desde muito cedo despertado o seu interesse e curiosidade. Existem dois grandes grupos de carvão: o carvão mineral, que constitui a grande maioria do carvão utilizado pelo Homem atualmente e que será mais detalhadamente abordado ao longo deste trabalho e o carvão vegetal. O primeiro forma-se a partir de vestígios orgânicos que se depositaram na superfície terrestre há milhões de anos atrás, geralmente em regiões pantanosas ou com um grau de humidade elevado e que, ao longo deste período, devido a movimentações das placas tectónicas terrestres foram enterrados a grandes profundidades na crosta terrestre, sofrendo um processo de compactação e aquecimento que deu origem inicialmente à turfa e posteriormente ao carvão propriamente dito. O carvão vegetal é obtido a partir da queima incompleta ou carbonização de material vegetal ficando no final com o aspeto compacto e escuro característico do carvão. Este tipo de carvão é principalmente utilizado para fins domésticos como aquecimento e preparação de alimentos, estando também presente, apesar de muito menos, na indústria siderúrgica e na medicina onde é tratado e utilizado como carvão ativo. Dado o longo ciclo de formação deste combustível, o carvão está integrado no grupo de fontes não renováveis de energia (WCI, 2005).

Todas as plantas armazenam energia proveniente do sol que é geralmente libertada ao longo do processo de decomposição, depois de estas morrerem. Sob determinadas condições favoráveis à formação do carvão (mineral), o processo de decaimento energético é interrompido ficando a energia armazenada no carvão (WCI, 2005). Pode-se então afirmar que a energia que aproveitamos do carvão é proveniente do sol, energia esta que já foi absorvida e transformada pelas plantas e que está agora disponível para consumo.

A qualidade do carvão pode-se então avaliar mediante as seguintes características (WCI, 2005):

- Tipo de vegetação da qual o carvão é originário;
- Profundidade a que sofreu as alterações físicas e químicas;
- Condições de temperatura e pressão durante esse processo;
- Duração do período de formação do carvão.

Consoante o nível de transformação da planta e o conteúdo de carbono, o carvão pode-se classificar em diferentes tipos. Estes tipos estão detalhadamente descritos mais à frente neste sub-capítulo.

2.3.2 Breve história do carvão

Como já foi referido, o carvão foi desde muito cedo um combustível que suscitou o interesse e curiosidade por parte da raça humana e por isso é provavelmente o combustível com a mais longa e talvez mais variada história de todos. É desta forma vantajoso ter uma noção histórica da forma como o carvão e a sua utilização têm evoluído ao longo do tempo, uma vez que esta pode ajudar a focar a forma como se pretende projetar o seu aproveitamento no futuro.

Segundo o WCI (2005), alguns historiadores consideram que o primeiro registo histórico do aproveitamento e comercialização do carvão provém da China por volta do ano 1000 A.C. onde o carvão era explorado nas minas do nordeste do país e utilizado para derreter o cobre e fabricar moedas. Existem ainda registos de referências ao carvão feitas pelo filósofo grego Aristóteles, referindo-se ao carvão vegetal como material orgânico existente sob a forma petrificada. Segundo a mesma fonte, foram também encontrados relatos arqueológicos que comprovam que bem mais tarde, no século II e III, os Romanos em Inglaterra começavam a utilizar o carvão como fonte de calor. No entanto, este carvão não era ainda o carvão como se conhece atualmente, era apenas um decomposto orgânico térreo que se utilizava juntamente com a madeira e que se verificava libertar mais calor que esta. Seguindo ainda o mesmo autor, mais tarde, já na Idade Média, evidências históricas provam a existência das primeiras minas de exploração deste minério na Europa, em Inglaterra, e registos das primeiras trocas internacionais por via marítima desde a costa inglesa até à região da atual Bélgica.

É no entanto muito mais tarde durante, a Revolução Industrial no final do século XVIII e princípio do século XIX, que o carvão sofreu a sua grande expansão. Depois da invenção da máquina a vapor por James Watt, patenteada em 1779, iniciou-se um processo de transformação das máquinas que antes utilizavam a força de animal em máquinas que utilizavam agora o carvão como fonte de produção de vapor para gerar trabalho. À medida que a Revolução Industrial se foi espalhando pelo mundo, novas aplicações do carvão foram surgindo. Em 1875, foi introduzido o coque, ou carvão mineral carbonizado, em substituição do carvão vegetal, obtido por carbonização da madeira, como combustível principal das caldeiras na indústria siderúrgica. A primeira utilização da combustão do carvão para produção de eletricidade ocorreu no final do século XIX, sendo que em 1961 o carvão tornou-se o combustível mais utilizado nos EUA para produção de eletricidade. No entanto este combustível era ainda muito utilizado como fonte de calor na indústria e nas habitações (WCI, 2005).

Atualmente a procura do carvão para produção de eletricidade continua a ser elevada em comparação com as restantes fontes de energia primária, apesar de se ter vindo a verificar a crescente prioridade na utilização de fontes renováveis de energia como a hídrica, a solar, a eólica e a geotérmica. Também o gás natural passou, na metade final do século XX e início do século XXI, a ser o combustível fóssil de preferência em detrimento do carvão e do petróleo, devido aos inferiores índices de poluição atmosférica e possibilidade de obtenção de rendimentos térmicos mais elevados (IEA, 2014)

Finalmente, importa referir que cada vez mais os combustíveis fósseis são postos de parte como fonte direta de energia sendo substituídos pela eletricidade como forma final de consumo de energia. Esta transformação está a ocorrer atualmente em todos os sectores de atividade, desde a indústria aos transportes e serviços, e de uma forma mais acelerada em alguns países do norte da Europa como a Noruega, Suécia e Dinamarca, onde a percentagem de utilização de eletricidade como fonte de energia final vai já nos 70% (IEA, 2011).

2.3.3 Tipos de carvão

Como já foi referido, a qualidade do carvão depende de fatores como temperatura, pressão e tempo de formação também denominado de *maturação orgânica*. O grau de alteração do carvão ao longo da sua formação (*maturação*), desde o seu estado inicial a turfa, até à antracite, permite a categorização do carvão do ponto de vista das suas características físicas e químicas assim como a sua avaliação em termos energéticos. Desta forma, pode-se dividir inicialmente o carvão em dois grandes grupos, *baixo teor energético* e *alto teor energético*, sendo que o primeiro é constituído pela *turfa*, *lenhite* e carvões *sub-betuminosos* e o segundo grupo constituído pelos *carvões betuminosos* e *antracite* (WCI, 2005).

2.3.3.1 Baixo teor energético

Turfa

A turfa é o carvão no seu estado menos desenvolvido. Consiste num aglomerado de material orgânico decomposto onde ainda é possível distinguir o conteúdo orgânico que lhe deu origem. Devido ao baixo nível de decomposição a turfa não é considerado como um tipo de carvão por muitos autores e dada a sua consistência e baixo teor de carbono, este tipo de carvão é apenas utilizado para fins domésticos principalmente nas zonas rurais da Escócia e Irlanda (IEA, 2013).

Lenhite

Também designada de *carvão castanho*, a lenhite apresenta normalmente uma consistência fibrosa e macia e claro está uma cor acastanhada. A lenhite contém cerca de 70% de humidade e por isso o seu conteúdo energético é também baixo (8-12 MJ/kg). À medida que a lenhite se vai desenvolvendo, esta vai perdendo a sua textura fibrosa e ganhando uma coloração mais escura. (IEA, 2013)

Sub-Betuminoso

O carvão sub-betuminoso encontra-se num grau de transformação situado entre a lenhite e os típicos carvões betuminosos, no entanto como ainda apresenta um teor em carbono reduzido relativamente aos betuminosos (entre 42% e 60%) torna-se importante distingui-lo dos carvões betuminosos. Este tipo de carvão apresenta um calor específico já bastante superior à lenhite (19-26 MJ/kg) e caracteriza-se por ter um nível de compactidade elevado e uma textura vítrea e brilhante em oposição à da lenhite, para além disso contém menos humidade (tipicamente 10-25%) e apresenta uma dureza superior à da lenhite, o que se torna vantajoso em termos de transporte, manuseamento e armazenamento. Recentemente as centrais de produção de eletricidade têm optado por substituir este tipo de carvão pelo carvão betuminoso uma vez que, apesar de ser necessário uma maior quantidade de carvão para produzir a mesma quantidade de eletricidade, este possui uma percentagem de enxofre bastante inferior (aproximadamente 1%) tornando os índices de poluição por óxidos de enxofre, da central, mais baixos (IEA, 2013).

2.3.3.2 Alto teor energético

Betuminoso

Este tipo de carvão, juntamente com o carvão sub-betuminoso, constitui a grande maioria do carvão produzido e consumido a nível mundial. O carvão betuminoso apresenta um estado de decomposição e compactação mais avançado que o sub-betuminoso e pode atingir uma percentagem de carbono de até 87% e um poder calorífico entre os 24 MJ/kg e os 35 MJ/kg. Este tipo de carvão é principalmente utilizado para produção de eletricidade nas centrais termoelétricas sendo que existe ainda uma pequena fração do carvão utilizado na indústria siderúrgica (IEA, 2013).

Antracite

A antracite é o tipo de carvão que apresenta a maturação orgânica mais elevada tendo por isso um conteúdo em carbono bastante elevado (tipicamente superior a 90%). É o último tipo de carvão em termos de transformação mineral, sendo por isso o último estágio de formação do carvão antes de se obter a grafite, componente praticamente puro em carbono. Aparece um aspeto compacto e brilhante, com uma textura vítrea e uma coloração negra, tendo densidade relativa que pode ser superior à da água em 30-40%. Devido ao baixo teor em compostos voláteis e mistura de cinzas a antracite apresenta uma combustão praticamente sem fumo e é por isso industrialmente denominada como um “*carvão limpo*” (IEA, 2013).

2.3.4 Disponibilidade geográfica

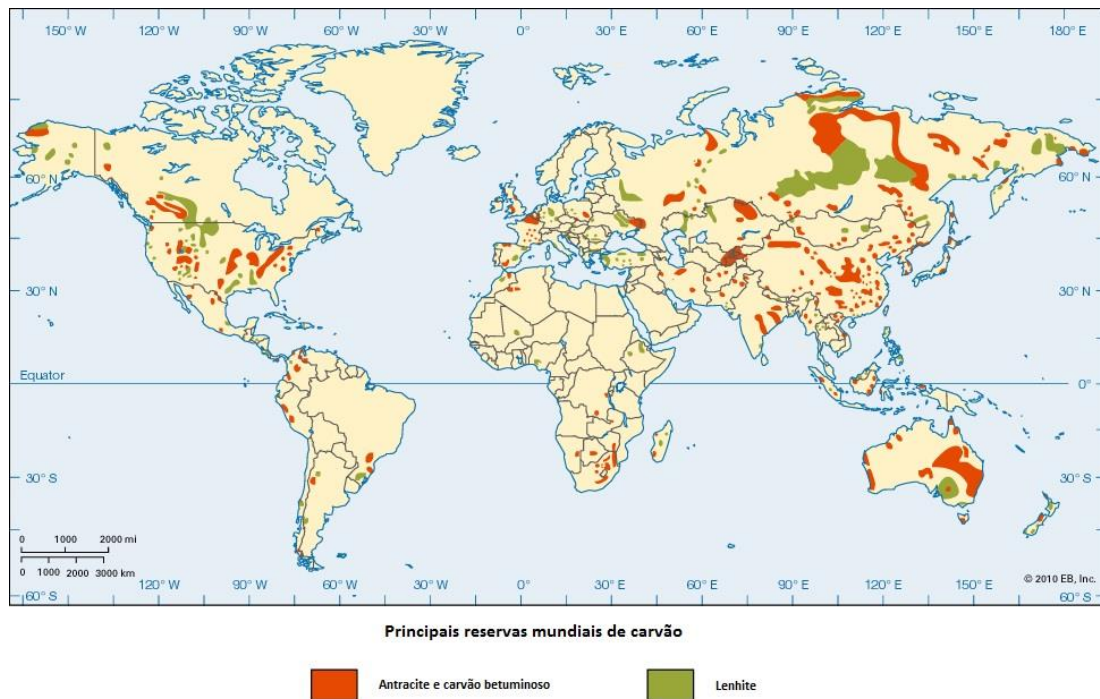


Figura 7 – Distribuição das reservas mundiais de carvão.

A *British Petroleum (BP)* estimou em 2004 reservas mundiais de carvão de 984 mil milhões de toneladas. Este valor poderá vir a aumentar com a evolução da tecnologia e da eficácia dos métodos de descoberta e extração de novas reservas. Fazendo uma estimativa tendo em base a perspetiva de consumo no futuro, face à evolução tecnológica e preferência pelas energias renováveis, a mesma fonte estima que existe carvão suficiente para alimentar a população mundial durante os próximos 190 anos.

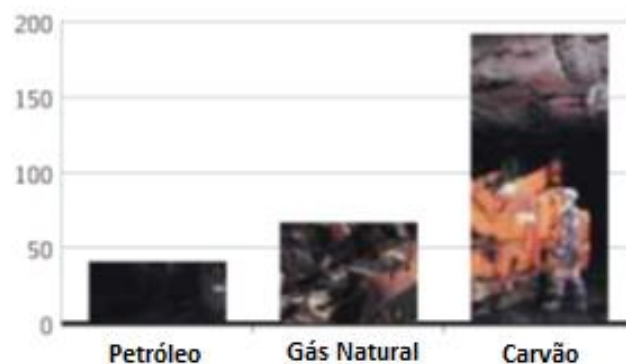


Figura 8 – Rácio Reserva/Produção (anos), (BP, 2004)

O carvão é portanto, ainda, um combustível bastante abundante no nosso planeta, em comparação com os outros tipos de combustível fóssil, (Figura 8) e que se distribui de uma forma bastante homogénea ao longo da superfície terrestre, havendo reservas de carvão em mais de 70 países pelo mundo (Figura 7). Segundo Ballat (2009), o país que dispõe da maior quantidade de reservas a nível mundial é os Estados Unidos da América, detendo de 27,1% de todo o carvão disponível no mundo seguido da Rússia e países constituintes da ex-Federação Soviética Russa (FSU) com 25% e em terceiro lugar a China com cerca de 12,6%. Esta grande disponibilidade faz do carvão o combustível fóssil de eleição em termos de preço e longevidade.

No entanto, apesar de ainda se verificar a abundância do carvão no mundo e da possibilidade do aumento da descoberta e da acessibilidade a novas reservas com o aumento das tecnologias de exploração deste minério, é fundamental que se garanta que a longevidade deste recurso seja compatível com o seu consumo a longo prazo. De acordo com M. Ballat (2009), prevê-se que no ano de 2050, o consumo de carvão a nível mundial perfaça os 34% da energia primária consumida. Seguindo esta evolução, restará saber se a dependência mundial do carvão irá baixar o suficientemente rápido para garantir que este combustível não acabe enquanto a população ainda depender consideravelmente dele.

2.3.5 Métodos de exploração

O carvão tem fundamentalmente duas formas distintas de ser explorado: em profundidade, e à superfície ou a céu-aberto. A escolha do método de extração deste minério depende de uma vasta quantidade de fatores, sendo que os mais determinantes são obviamente as características geológicas da reserva em exploração. No entanto, o impacto ambiental e a viabilidade económica da exploração podem ser relevantes o suficiente para fazer alterar a forma de aproveitamento de uma reserva de carvão. Nesta secção serão descritos os dois métodos de extração de carvão assim como o tipo de equipamentos necessários em cada um deles (WCI, 2005).

2.3.5.1 Exploração em profundidade

A mineração em profundidade (Figura 9) ou subterrânea pode ser dividida em duas classes dependendo da estratégia construtiva de como se vai progredindo na exploração da reserva:

Câmaras e pilares

O carvão é retirado da reserva em secções ou divisões subterrâneas deixando-se algum carvão a suportar a estrutura da mina sob a forma de pilares. Este carvão que é deixado para trás constitui por vezes 40% do carvão total explorado numa reserva sendo no entanto por vezes possível recuperar algum carvão numa fase final da exploração, também designada por “exploração em retirada”, na qual os mineiros vão retirando algum do carvão dos pilares à medida que vão encerrando as secções da mina. A grande vantagem desta estratégia de exploração é a possibilidade de começar a retirar e processar o carvão muito mais rapidamente utilizando equipamento de muito mais pequeno porte, tais como contentores ou camiões de transporte de carvão com um custo de aquisição e manutenção que pode ser até 10 vezes inferior ao equipamento necessário no método alternativo.

Túnel

Neste tipo de abordagem, o carvão é retirado diretamente de uma secção da mina em profundidade através de máquinas de corte rotativas de grande porte criando um túnel ao longo da mina que pode atingir os 3 km de profundidade e entre 100 e 350 metros de largura. Este tipo de projeto exige um planeamento mais cuidadoso e detalhado antes de se iniciar a extração do carvão, uma vez que a área da mina sem suporte é superior e por isso o risco de colapso é também superior, no entanto a quantidade de carvão que se consegue aproveitar da mina é também superior, cerca de 75% do carvão da reserva é aproveitado, o que constitui uma vantagem sobre o anterior tipo de exploração.

Exploração de carvão em profundidade

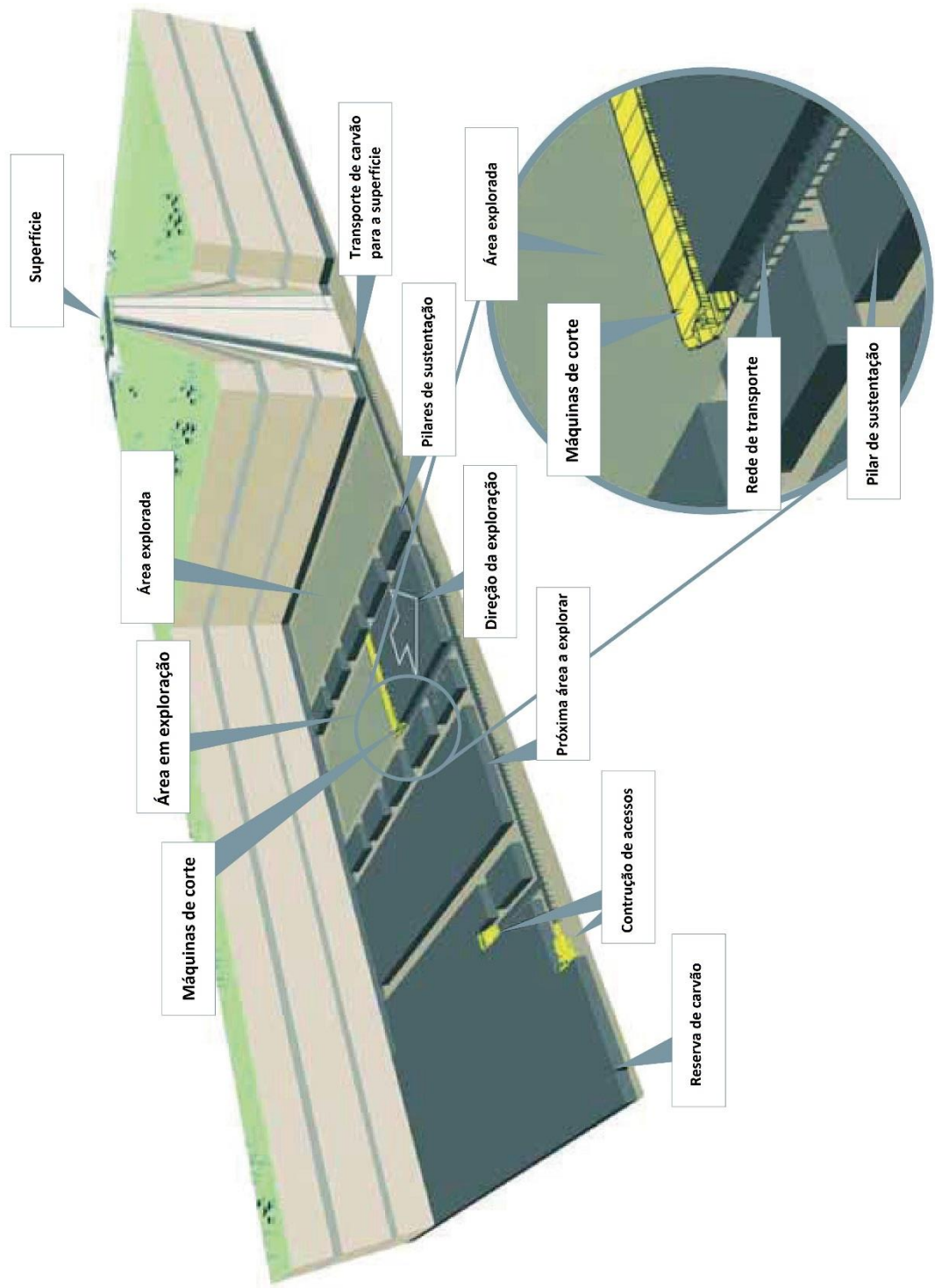


Figura 9 – Exploração de carvão em profundidade, (WCI, 2005).

2.3.5.2 Exploração à superfície

A exploração do carvão à superfície ou também designada a céu aberto (Figura 10), só se torna viável quando a reserva de carvão se encontra próxima da superfície terrestre. Este método de exploração aproveita, em termos gerais, uma maior quantidade de carvão do que a exploração em profundidade, sendo que até cerca de 90% do carvão da reserva consegue ser aproveitado ao longo de áreas expostas à superfície de vários quilómetros quadrados. Para este tipo de exploração são utilizados normalmente equipamentos como escavadoras de mineração, utilizadas para retirar a quantidade de rochas e solo que se encontra entre as camadas de carvão depois de terem sido separados através da utilização de explosivos. Em alternativa ou como complemento, escavadoras de grande porte e camiões de transporte com capacidade para deslocar várias toneladas de detritos ou carvão podem ser utilizados. Assim que o carvão se encontra exposto à superfície, este é perfurado, fraturado e ordenadamente extraído sendo depois carregado e transportado para a central de preparação de carvão ou caso já reúna as condições necessárias para os pontos de utilização (WCI, 2005).

Como já foi referido, antes de se optar por algum destes métodos de exploração, é conveniente realizar-se um estudo detalhado analisando-se os prós e os contras de cada uma das alternativas em função das condições da mina a explorar, uma vez que a escolha depende sempre das características da reserva a explorar mas terá que ter sempre em conta as considerações económicas e de segurança da exploração. Por vezes numa única mina utilizam-se ambos os métodos de exploração em diferentes secções (WCI, 2005).

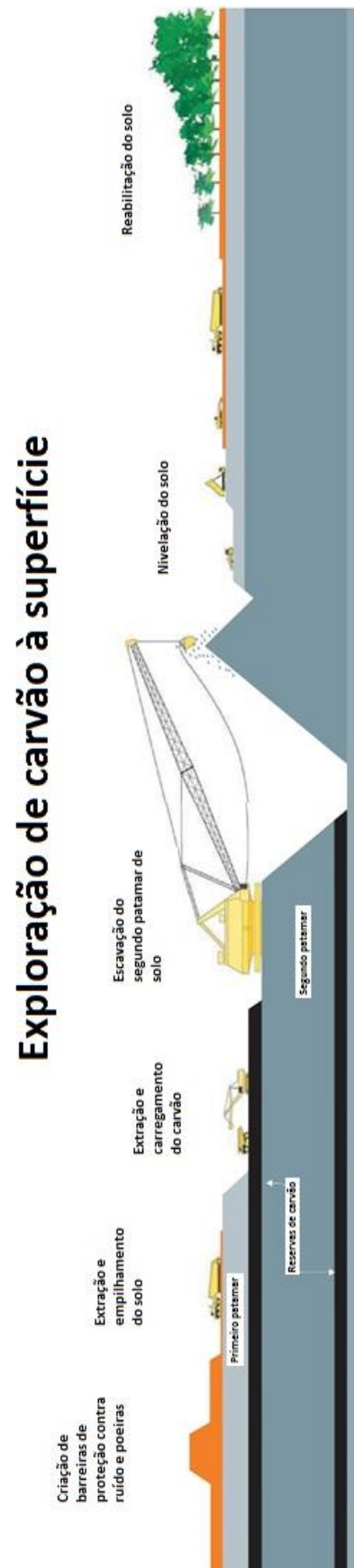


Figura 10 – Exploração de carvão à superfície, (WCI, 2005).

2.3.6 Transporte do carvão

O transporte do carvão, desde o local onde é explorado até ao seu consumidor final, pode por vezes ser responsável por 70% do seu custo final de venda, tratando-se portanto de um setor essencial do mercado do carvão. É por isso importante mencionar alguns tópicos acerca da forma como este minério é transportado ao longo das rotas comerciais e conhecer as diversas alternativas existentes no mercado.

A forma como o carvão é transportado depois da sua extração depende essencialmente da distância que este terá de percorrer. Geralmente o carvão é transportado em contentores por camiões para distâncias consideradas curtas, ou por comboio para distâncias longas em mercados domésticos. Em alternativa, para tipos de utilização em que se pretende o carvão sob a forma de suspensão aquosa, este pode ser misturado com água e transportado via oleodutos, solução existente principalmente nos desertos do sudoeste da América do Norte. Contudo, para distâncias consideradas muito longas ou em transações internacionais, o carvão é transportado por rotas marítimas através de navios que podem ter capacidades superiores a 80 000 DTW (toneladas de peso morto). Segundo o *World Coal Institute*, dos 700 milhões de toneladas (Mt) de carvão transportado internacionalmente em 2003, 90% terá sido por via marítima (WCI,2005).

3 Central termoelétrica de Sines

O presente capítulo tem como objetivo dar a conhecer, com algum grau de detalhe, os princípios gerais de funcionamento e os conceitos chave do ciclo termodinâmico de uma central de produção de energia elétrica a partir da queima de carvão. Uma vez que o caso prático do trabalho incide sobre a modelação da central de Sines, esta será aqui detalhada, servindo de exemplo descritivo de uma central a carvão de média/grande dimensão. Ao longo do capítulo será apresentado um enquadramento histórico e geográfico da central, introduzido o ciclo Rankine regenerativo particular desta instalação e explicado o funcionamento dos principais componentes do ciclo fazendo-se referência sempre que necessário a pormenores ou detalhes particulares da central em estudo.

3.1 Centro de produção de Sines



Figura 11 – Fotografia aérea do centro de produção de Sines, (EDP Produção, 2015).

O centro de produção de Sines, pertencente à EDP, cuja construção se iniciou em 1979 e terminou em 1989, representou um investimento de aproximadamente 650 milhões de euros a preços de 1983. A obra envolveu durante este período 100% de indústria nacional na construção civil e 80% no fornecimento de equipamentos metalomecânicos e elétricos. O projeto da central, com infraestruturas preparadas para 6 grupos, dos quais foram contruídos 4, com potência unitária de 314 MW, foi desenvolvido a partir da estratégia de política energética nacional que pretendia assegurar no país um nível de potência instalada necessária à satisfação dos consumos, permitir a diversificação das fontes de energia primária no seguimento das crises petrolíferas da década de 70 e beneficiar da existência de um porto de águas profundas permitindo a atracação de grandes navios graneleiros (EDP Produção, 2015).

Com um total de 1256 MW de potência bruta nominal instalada, a central de Sines constitui o maior centro eletroprodutor nacional, tendo a capacidade de emitir para a rede 1180 MW de potência, cerca de 17% da potência elétrica consumida a nível nacional, sendo a restante potência necessária para alimentar os sistemas auxiliares da instalação. Cada grupo consome em média (em funcionamento nominal) 110 t/h de carvão proveniente maioritariamente da Colômbia, o qual, depois de descarregado do porto, é transportado por uma rede de tapetes transportadores com capacidade para 2000 t/h e com uma extensão de cerca de 14 km, e depositado num parque (de carvão) com capacidade para aproximadamente 1,5 milhões de toneladas deste minério divididas em 4 pilhas ativas e 1 pilha passiva (visíveis na figura acima). Para cumprir com as exigências sempre crescentes dos requisitos ambientais, foram sendo adicionados e a cada grupo da central unidades de redução das emissões de poluentes nos gases de escape: o sistema de dessulfuração dos gases de escape (FGD - *Flue-Gas Desulfurization*) instalado em 2005 e posto em funcionamento em todos os

grupos em 2008, a otimização do precipitador eletroestático (ESP - Electrostatic Precipitator) para redução do teor de partículas (cinzas volantes) dos gases, apresentando atualmente uma eficiência superior a 99,5%. Finalmente, com o objetivo de reduzir a concentração dos óxidos de azoto (NO_x), foram instalados os sistemas de redução catalítica seletiva em cada unidade (SCR - Selective Catalytic Reduction), em serviço desde 2011, e a BOFA (Boosted Over Fire Air) em 2008, evolução da OFA (Over Fire Air) que havia sido instalada em 2000. Este conjunto de sistemas de controlo de emissões terá exigido por parte da EDP um investimento superior a 314 milhões de euros, necessário para cumprir com requisitos legislativos ambientais, mas também com o objetivo de otimizar o desempenho da instalação (EDP Produção, 2015).

Como indicado na Figura 12, de toda a energia libertada através da combustão do carvão, cerca de 38% é transformada em energia elétrica no alternador (acoplado às turbinas), sendo que apenas 36,2% é injetada na rede. Estes valores provêm de uma análise de primeira lei do ciclo que permite averiguar o rendimento da instalação assim como as perdas de energia.

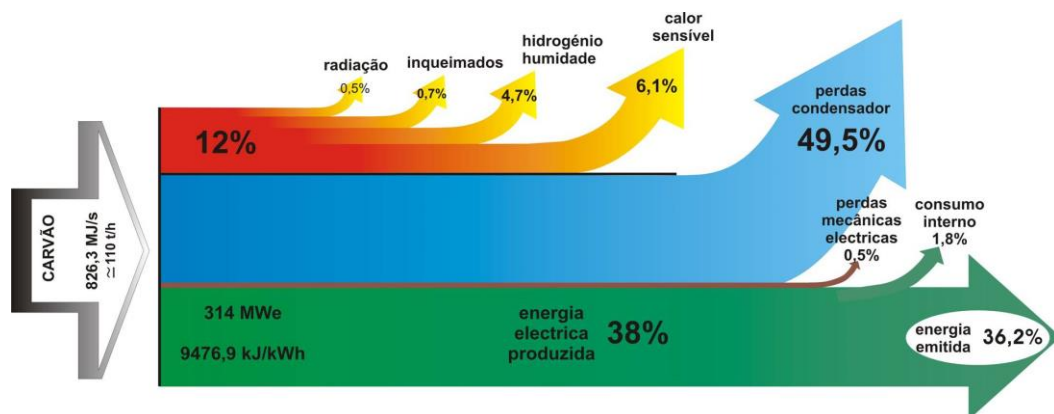


Figura 12 – Diagrama da distribuição da energia ao longo do ciclo da central/Sankey, (EDP Produção, 2015).

É de referir que o processo de transformação da energia química do combustível em energia elétrica implica a formação de uma série de subprodutos que podem ser aproveitados, nomeadamente as cinzas volantes retiradas dos precipitadores eletrostáticos utilizadas na produção de betão pela indústria cimenteira. A introdução da unidade de dessulfurização origina a produção do gesso como subproduto, uma vez que consiste basicamente na remoção do dióxido de enxofre dos gases de combustão através da reação com um absorvente alcalino.

3.2 Percurso do carvão

Uma vez atracado no porto de Sines, o carvão descarregado do navio é encaminhado para o parque da central pelo sistema de tapetes transportadores já referido. Deste sistema fazem parte 10 torres de transferência equipadas com sistema de despoeiramento, 2 máquinas de empilhamento, 2 máquinas de retoma do carvão para os silos de cada grupo e um carro de transferência para as máquinas de retoma. O parque de carvão, Figura 13, contém 4 pilhas ativas com 150.000 toneladas de capacidade cada e uma pilha passiva com capacidade para 900.000 toneladas de carvão. Nesta última o carvão é depositado e compactado de forma a poder permanecer durante alguns anos sem sofrer a autocombustão ou perda significativa de características. Constitui por isso a reserva estratégica de combustível da central.

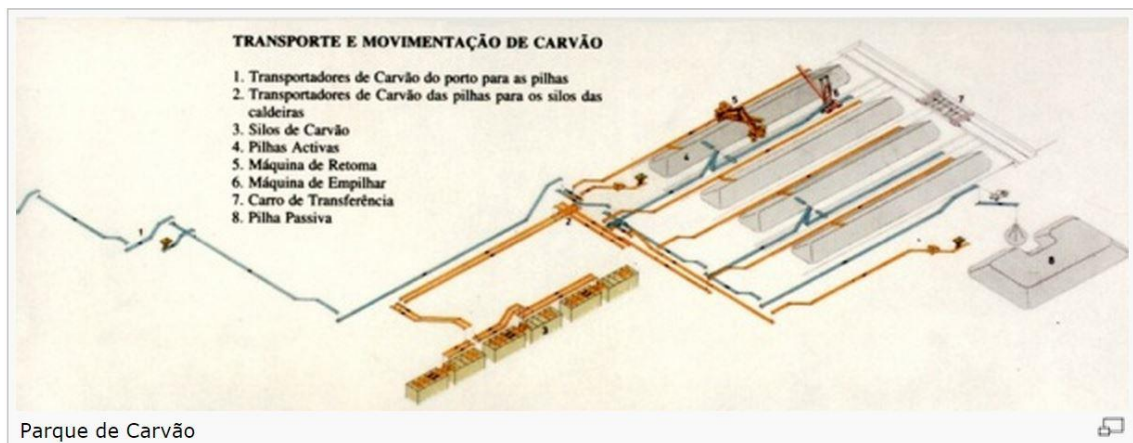


Figura 13 – Esquema representativo do sistema de transporte e movimentação de carvão da central, (Wikienergia, 2015).

O abastecimento dos grupos é feito a partir das pilhas ativas pelas máquinas de retoma com um caudal máximo de 1500 t/h. Os 5 silos de carvão existentes por grupo, um por moinho, têm capacidade máxima para 300 t cada, possibilitando o armazenamento suficiente para cerca de 12 horas de operação do grupo à carga máxima. O carvão sai de cada silo para o alimentador, que regula o seu caudal, e depois para o respetivo moinho onde a sua granulometria é reduzida para uma dimensão média inferior a 75 μm . Cada moinho fornece carvão a quatro queimadores de parede, na zona designada por câmara de combustão (ou fornalha), os quais podem operar de forma estável com caudais de carvão entre as 3,5 e 7,5 t/h. Para caudais de carvão inferiores, durante entradas ou saídas de serviço, é necessária uma chama de suporte a fuelóleo.

O controlo de combustão é efetuado automaticamente pelo sistema DCS (Distributed Control System) em função das características do carvão, e otimizado manualmente em função das emissões de NO_x , dos inqueimados nas cinzas volantes e da temperatura do vapor. No controlo da combustão, o cumprimento dos limites ambientais é prioritário relativamente às restantes variáveis. Os equipamentos de manuseamento, queima, tratamento de carvão e captação das cinzas foram projetados para a utilização de carvões de variadas origens, isoladamente ou em forma de mistura (EDP Produção, 2012).

3.3 Ciclo Rankine regenerativo

Na figura abaixo, que representa o esquema de um grupo da central de Sines, pode-se observar o ciclo de Rankine, o sistema de alimentação de combustível, o sistema de água de refrigeração, o circuito ar-fumos (incluindo chaminé), o alternador e transformadores de potência. O ciclo de Rankine das unidades da central de Sines inclui sobreaquecimento, reaquecimento e estágios de recuperação de calor, nos quais o vapor extraído das turbinas em diferentes fases de expansão é aproveitado em permutadores de calor para pré-aquecer a água proveniente do condensador. Em termos operacionais este ciclo pode-se dividir em duas partes, uma relativa ao grupo turbina alternador (GTA), e outra relativa à caldeira (ou GGV - Grupo Geração Vapor) na qual ocorre o processo de combustão do carvão. Seguidamente é feita uma descrição de cada componente que constitui o ciclo.

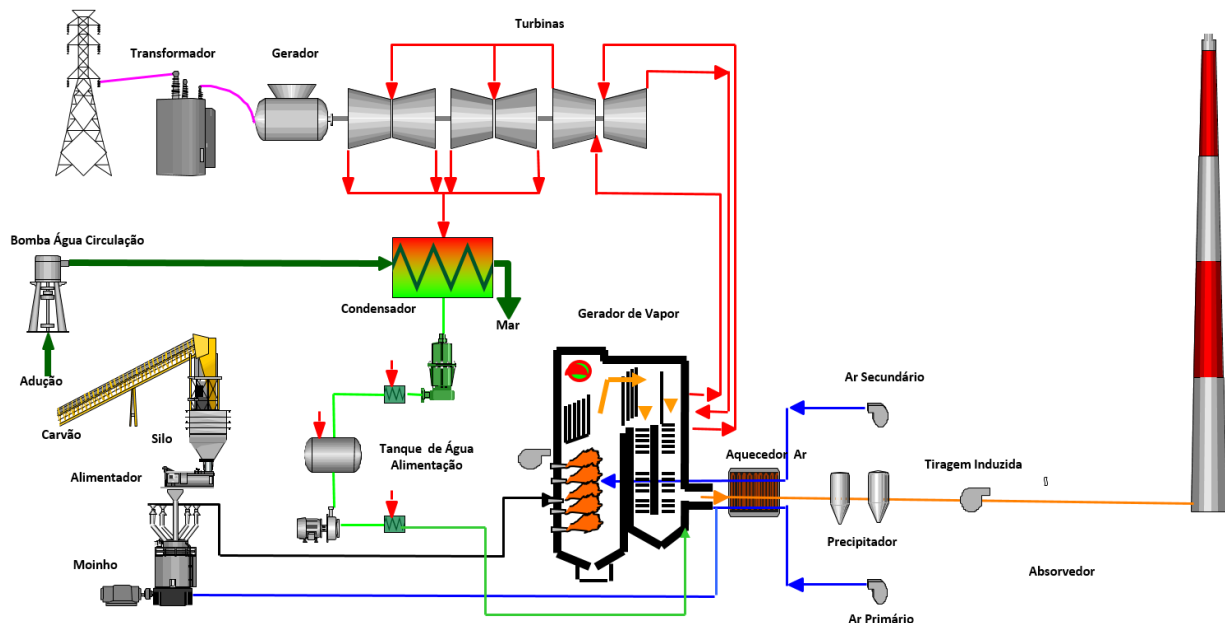


Figura 14 – Esquema ilustrativo de um grupo da central, (EDP Produção, 2015)

3.4 Principais componentes do ciclo

O ciclo água-vapor, representado em detalhe no diagrama da figura 15, inclui componentes do grupo turbina-alternador, nomeadamente turbina, condensador, pré-aquecedores e componentes do GGV, designadamente fornalha, reaquecedor, sobreaquecedores e economizador. Os componentes mencionados encontram-se descritos nesta secção.

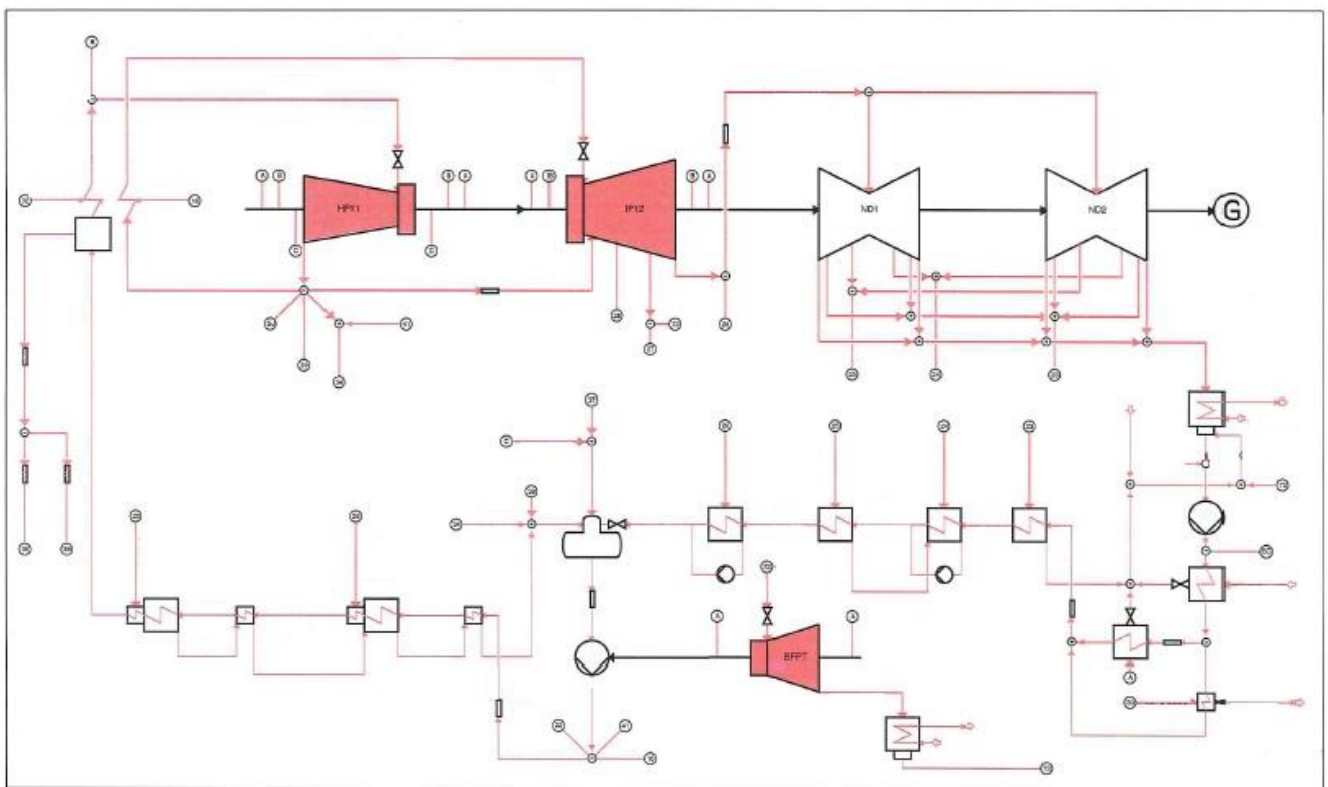


Figura 15 – Diagrama do ciclo água-vapor de um grupo da central, (Alstom, 2005).

3.4.1 GTA

O grupo turbina alternador (Figuras 16 e 17), constituído tal como o nome indica, pelas turbinas de vapor e pelo alternador de potência é responsável pela produção do trabalho retirado do ciclo térmico. Desta forma, o seu perfeito estado de funcionamento é essencial para manter o rendimento da central nos níveis recomendados de projeto e assim manter a central a produzir na sua máxima capacidade.



Figura 16 – Conjunto turbinas alternador do grupo 1 da central, (EDP Produção, 2015).

3.4.1.1 Turbinas

O conjunto de turbinas de cada grupo da central de Sines, com uma potência total de 319,8 MW, é composto por 4 corpos de fluxo axial do fabricante Mague/ABB e uma velocidade de rotação de 3000 rpm, um de alta pressão que recebe o vapor a 162 bar e 535 °C, outro de média pressão e finalmente dois corpos de baixa pressão. A carga do grupo é controlada por um sistema de válvulas de regulação que possibilitam a variação do caudal de vapor admitido na turbina. Da evacuação da turbina de alta pressão o vapor, designado vapor a reaquecer, com pressão a 47 bar e 350 °C, entra no reaquecedor onde é aquecido até uma temperatura de 535 °C. O vapor, agora com a definição de reaquecido ou ressoaquecido, é enviado para a turbina de média pressão, com 3 extrações intermédias de vapor, onde grande parte do trabalho do ciclo é realizado. Finalmente, dois corpos iguais de baixa pressão, nas quais o vapor admitido por cada um constitui metade do vapor de exaustão da turbina de média pressão (retirando as eventuais fugas de vapor e o vapor utilizado no pré-aquecedor de baixa pressão 4), entra com aproximadamente 5 bar e sai a 45 mbar. Estas turbinas, visto estarem a funcionar em vácuo, estão equipadas com um sistema de injeção de vapor proveniente das fugas da alta e média pressão, chamado vapor de bucins, que evita a sucção do ar exterior para o interior do corpo da turbina (EDP Produção, 2012).

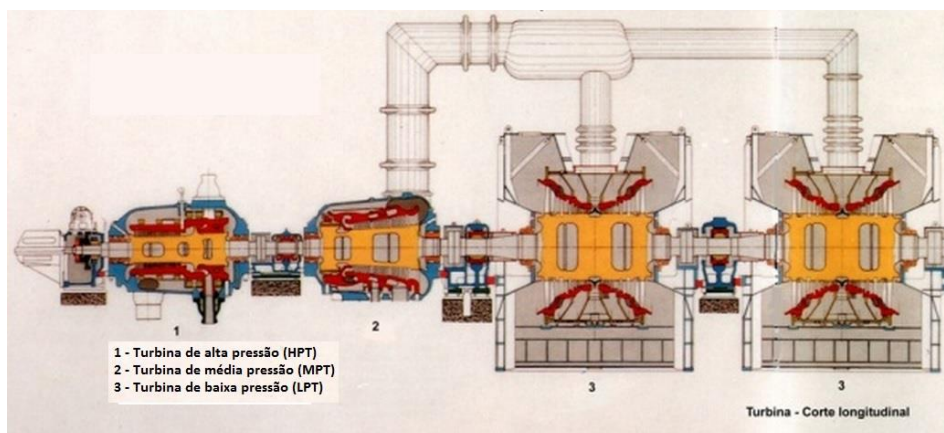


Figura 17 – Esquema de corte do conjunto de turbinas de um grupo da central, (Wikienergia, 2010).

3.4.1.2 Alternador

Constitui o elemento final onde a energia mecânica do veio é convertida em energia elétrica que, após elevação de tensão nos transformadores, é injetada na rede elétrica. É um alternador de construção BBC, síncrono, trifásico, com a potência nominal de 353 MVA, com um par de polos e com a velocidade de rotação de 3000 rpm. O sistema de excitação é de tecnologia estática, baseada em tirístores e alimentado a partir da energia gerada através do transformador de excitação, ligado aos terminais do gerador. A tensão de geração é de 18 kV. O alternador dispõe de dois sistemas de refrigeração distintos, um para o estator, alimentado a água, e outro para o rotor que funciona a hidrogénio (EDP Produção, 2012).

3.4.2 Permutadores de calor

3.4.2.1 Condensador

O condensador é o elemento da instalação responsável pela mudança de fase do vapor que sai das turbinas em água no estado líquido que vai ser bombeada para o trem de pré-aquecimento, entrando na caldeira, onde é produzido o vapor que é expandido nas turbinas, completando desta forma o ciclo termodinâmico da central. Este equipamento consiste num corpo provido de 20.800 tubos de titânio com cerca de 8 metros de comprimento que perfazem um total de 11.950 m² de área de contacto, no interior dos quais circula a água de refrigeração proveniente do mar que irá arrefecer e condensar o vapor do ciclo. O circuito de refrigeração dos condensadores é aberto e utiliza a água do mar captada junto à praia de S. Torpes, garantindo as condições da fonte fria do sistema térmico. Cada grupo dispõe de uma bomba de circulação que assegura o caudal de água de refrigeração, cerca de 10 m³/s. Após a passagem pelo condensador a água é devolvida ao mar através do canal de rejeição, com um aumento de temperatura de cerca de 8 °C. Uma vez que o condensador se encontra situado a cerca de 15 m acima do nível médio da maré, foi instalado na queda de água de rejeição um sistema de reaproveitamento de energia constituído por quatro turbinas hidráulicas de recuperação, que recuperam 25% da potência de bombagem. São cerca de 2 MW, no total dos quatro grupos instalados (EDP Produção, 2012).



Figura 18 – Fotografia ao condensador do grupo 1 da central, (EDP Produção, 2015).

3.4.2.2 Pré-aquecedores

Os pré-aquecedores, ou regeneradores de calor servem para aquecer a água desde os cerca de 35 °C à saída do condensador até aos 255 °C imediatamente antes da entrada na caldeira, pelo aproveitamento de extracções sucessivas do vapor ao longo da sua expansão nas turbinas. Estes equipamentos são permutadores de calor do tipo carcaça-tubo com cerca de 10,5 m de comprimento e 1,5 m de diâmetro que possuem no interior um sistema tubular com tubos em U no interior dos quais circula a água a ser aquecida.

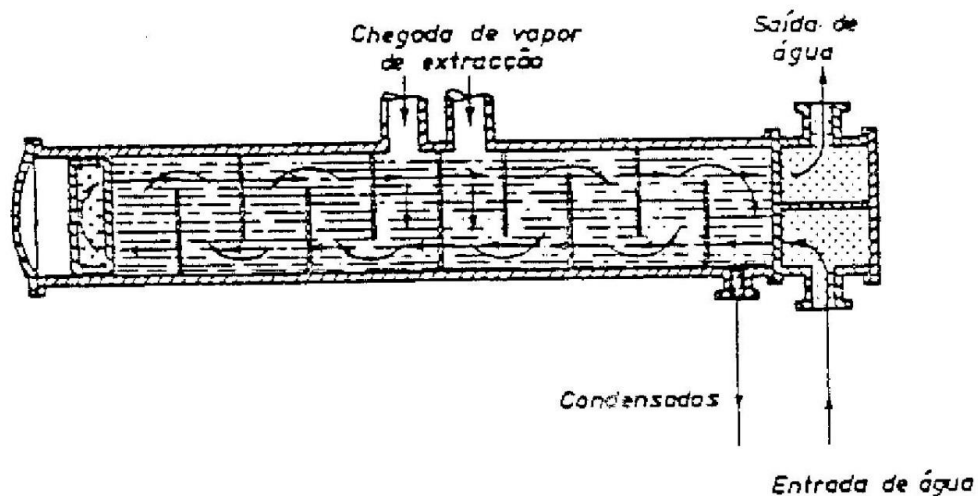


Figura 19 – Esquema de corte de um pré-aquecedor da central, (SEFLOR, 1990).

Cada unidade da central de Sines está equipada com 7 pré-aquecedores montados em série, sendo os quatro primeiros denominados de pré-aquecedores de baixa pressão uma vez que admitem o vapor das extracções das turbinas de baixa pressão, e o quarto, o vapor de exaustão da turbina de média pressão. O quinto pré-aquecedor, também chamado de tanque de alimentação, constitui um tanque de acumulação de água que será posteriormente bombeada para a caldeira. Este equipamento tem como principais funções: o aquecimento por mistura da água com o vapor proveniente da segunda extracção da turbina de média pressão, o armazenamento de água para compensar eventuais flutuações no funcionamento da central sem que daí resulte um desequilíbrio no caudal de água a circular e, finalmente, a desgaseificação da água de forma a reduzir a concentração de oxigénio e outros gases que aumentam o índice de corrosão na caldeira. A temperatura da água à saída do tanque de alimentação ronda os 185 °C. Depois de bombeada, a água sob pressão é enviada para os pré-aquecedores de alta pressão, passando primeiramente pelo pré aquecedor 6, onde geralmente entra com um ligeiro acréscimo de temperatura por passar na bomba de alimentação e com uma pressão absoluta de 190 bar, aqui o vapor proveniente da primeira extracção da turbina de média pressão (aproximadamente 27 bar) aquece a água em cerca de 30 °C. Finalmente, a água saturada a alta pressão é aquecida pelo vapor da exaustão da turbina de alta pressão no último estágio de recuperação de calor, no pré-aquecedor 7, de onde sai a 255 °C diretamente para a caldeira.

3.4.3 Grupo gerador de vapor

Depois de obtida a água a 255 °C e 190 bar, é necessário proceder ao seu sobreaquecimento de forma a atingir as condições de vapor desejadas para a sua admissão nas turbinas. Este processo ocorre na caldeira onde, recorrendo à energia libertada na combustão do carvão, se aquece a água por um processo de transferência de calor por radiação, ocorrendo uma mudança de fase (no barrilete), seguida por um sobreaquecimento na zona de convecção da caldeira. Abaixo segue-se a descrição do grupo gerador de vapor (caldeira) e a forma como ocorrem as transferências de calor neste sistema; as Figuras 20 e 21 poderão ser acompanhadas da leitura do texto de forma a facilitar a compreensão do mesmo.

3.4.3.1 GGV (Caldeira)

O gerador de vapor, ou caldeira, é de circulação natural. Em regime nominal, produz 950 t/h de vapor sobreaquecido a 167 bar e 535 °C, com um consumo médio de carvão de 110 t/h e um poder calorífico superior de cerca de 26.600 kJ/kg. Tem aproximadamente 50 m de altura, 26 m de comprimento e 15 m de largura. Do ponto de vista da transmissão de calor, é composto essencialmente por duas partes, a zona de radiação e a zona de convecção. A primeira, onde a transferência de calor se faz principalmente por radiação, integra a fornalha, onde estão instalados os queimadores e onde ocorre toda a reação de combustão. A zona de convecção, onde a transferência de calor se faz essencialmente por convecção, está localizada na parte posterior da caldeira (delimitação de zonas visível na (Figura 20).

Na fornalha, o calor latente de vaporização é fornecido por radiação à água nos painéis da fornalha, constituídos por tubos, que sobe em direção ao barrilete onde ocorre a separação do vapor e da água. Após a separação, o vapor passa aos painéis de secagem, que formam o teto da caldeira e as paredes da zona de convecção, e daí para os sobreaquecedores, onde se dá a elevação da temperatura até aos 535 °C. A zona de convecção inclui ainda o reaquecedor, que tem por função voltar a elevar a temperatura do vapor após expansão na turbina de alta pressão.

É importante referir que, antes de ser introduzida no barrilete e posteriormente alimentar os painéis da fornalha, a água atravessa um conjunto de serpentinas denominado economizador, no qual a temperatura dos gases imediatamente antes da saída da caldeira, isto é, já depois de atravessar praticamente toda a zona de convecção, é aproveitada para pré-aquecer a água.

A Figura 21 mostra a estrutura típica de uma caldeira em projecção isométrica.

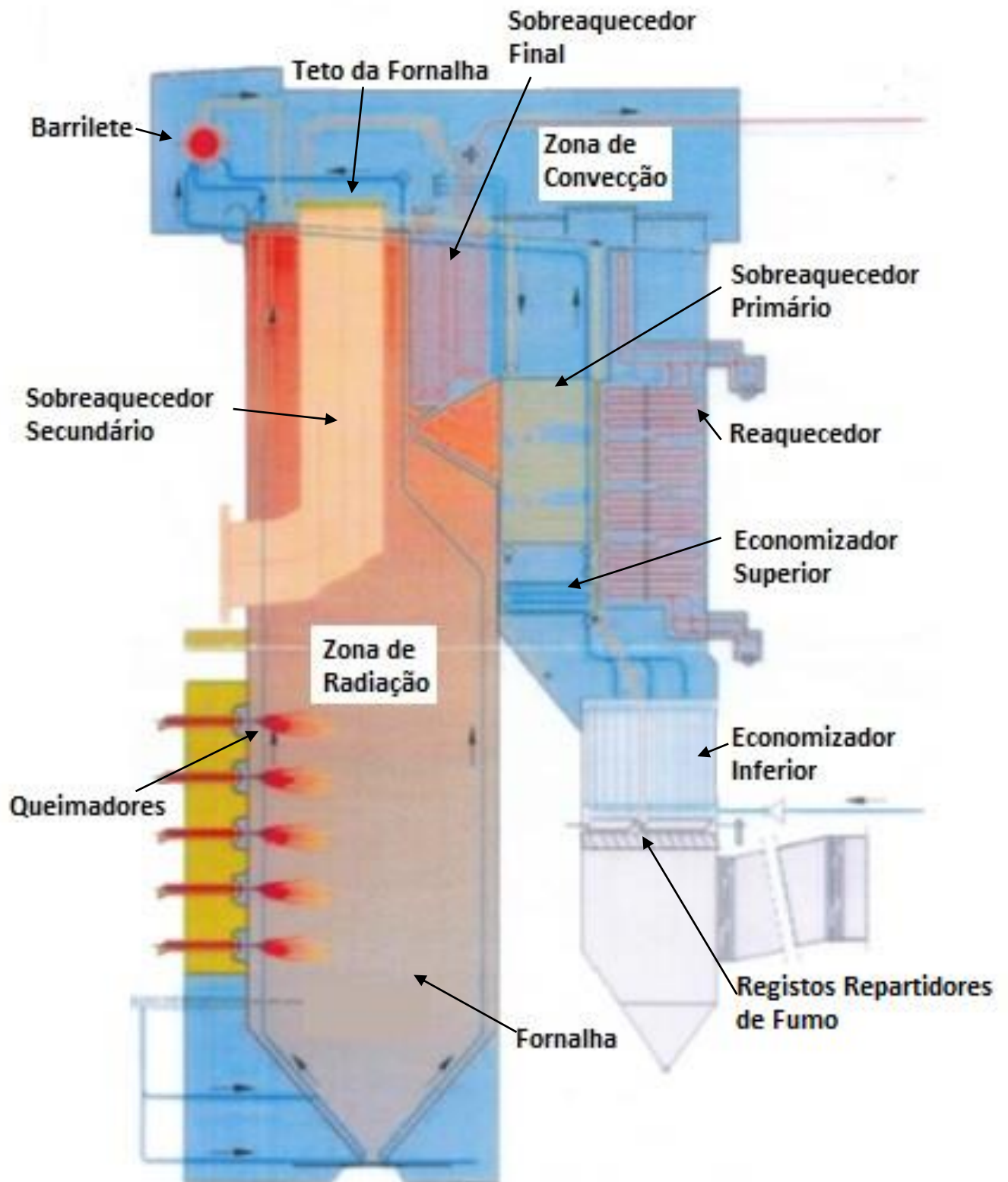
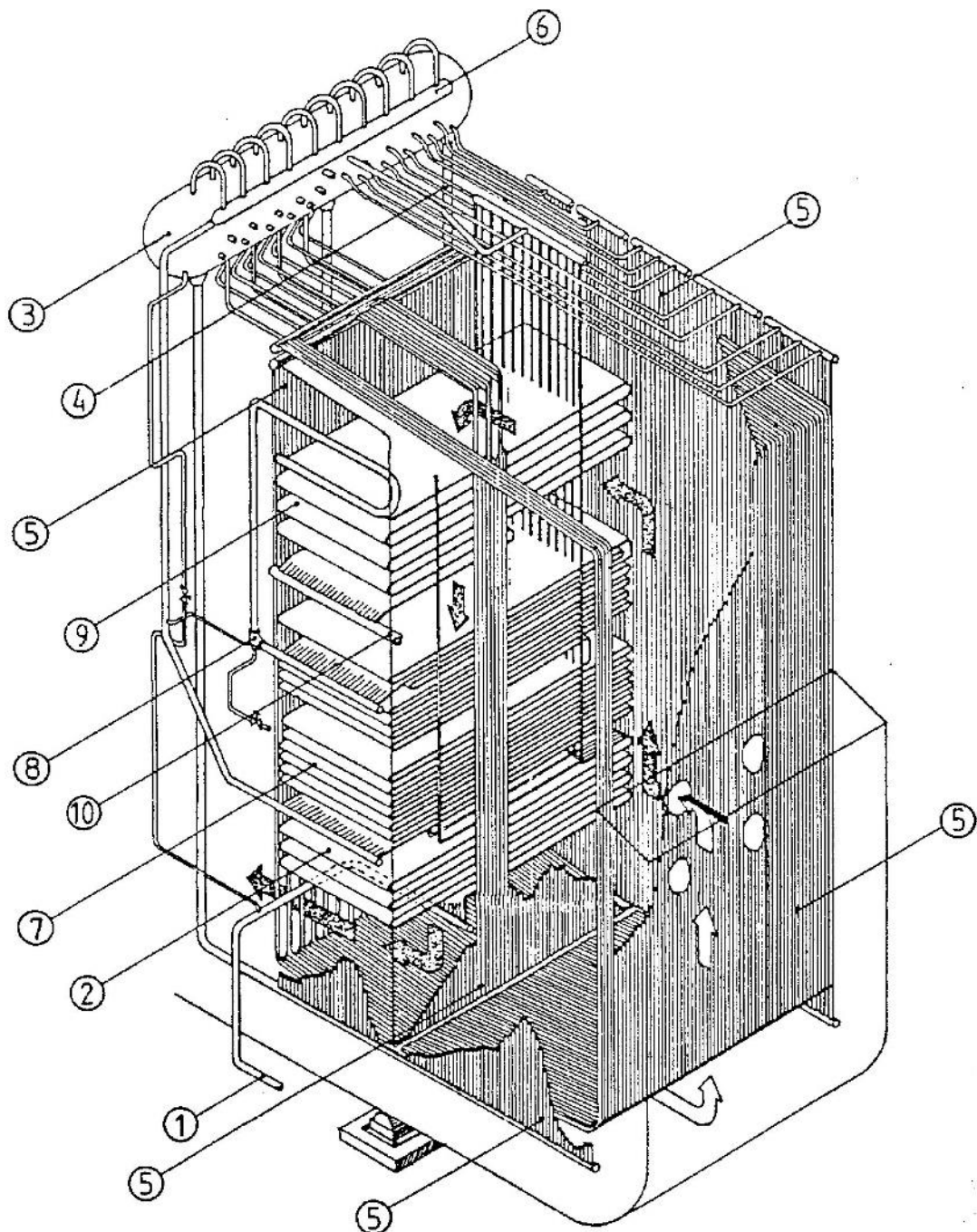


Figura 20 – Esquema de corte da caldeira.



- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1- Entrada de água de alimentação | 6- Colector de saída de vapor saturado |
| 2- Economizador | 7- Sobreaquecedor primário |
| 3- Barrilete | 8- Injecção de dessobreaquecimento |
| 4- Tubos descendentes | 9- Sobreaquecedor final |
| 5- Painéis de vaporização | 10- Saída de vapor sobreaquecido |

Figura 21 – Projeção isométrica de uma caldeira típica de uma central térmica de carvão, (SEFLOR,1990).

3.4.4 Combustão

O ar para a combustão é fornecido por três grupos de dois ventiladores: ventiladores de ar primário (VAP), ventiladores de ar secundário (VAS) e ventiladores de ar sobre a queima (BOFA). O ar primário, fornecido pelos respetivos ventiladores, com capacidade de 50% cada, tem duas funções principais:

- Arrastar o carvão pulverizado do moinho para os queimadores, garantindo a velocidade de escoamento da mistura ar/carvão superior a 20 m/s de forma a minimizar a probabilidade de ocorrência do fenómeno de retorno de chama;
- Participar na combustão do carvão sob a forma de chama de pré-mistura.

O ar secundário, fornecido pelos respetivos ventiladores, tem como função principal a participação na combustão do carvão ou *fuel*, sob a forma de chama de difusão.

Com o tipo de queima “*Low NOx*” praticado atualmente, a quantidade de ar primário e secundário, fornecido diretamente à combustão através dos queimadores constitui apenas cerca de 80% do necessário para a reação completa do combustível. Assim, o restante ar é fornecido num estágio seguinte, localizado na zona superior da fornalha, onde se completa a combustão das partículas de carvão desvolatilizadas (EDP Produção, 2012).

A caldeira constitui o elemento mais complexo de toda a instalação sendo também aqui que as perdas de calor são as mais significativas, conforme será possível verificar na análise exergética do ciclo realizada mais adiante. A vasta quantidade de sistemas auxiliares e de controlo que foram estudados ao longo do trabalho não serão aqui detalhados de forma a não tornar o documento demasiadamente denso em termos de informação e a não desviar a atenção de outros tópicos de grande relevância para o trabalho desenvolvido.

3.4.5 Transformadores

Cada grupo da Central Termoelétrica de Sines está equipado com um transformador trifásico principal, do tipo couraçado imbricado de elevada potência, 340 MVA, com tensão nominal de 18/150 kV para o grupo 1 e 18/400 kV para os restantes grupos e com refrigeração do tipo ODAF (Óleo Dirigido, Ar Forçado). A principal função deste componente é a de elevar a tensão de geração de 18 kV para a tensão da linha de transporte, 150 ou 400 kV. Poderá ter ainda a função inversa, de alimentar os grupos quando estes se encontram fora de serviço ou em fase de arranque. Para além dos transformadores principais a central está ainda equipada com transformadores auxiliares ou de sub-tiragem que têm a função de alimentar os quadros de 6 kV dos sistemas auxiliares dos grupos, os transformadores de alimentação dos quadros de baixa tensão, transformador de arranque ou de 60 kV e transformadores de alimentação dos quadros de iluminação (EDP Produção, 2012).



Figura 22 – Fotografia de um transformador trifásico principal, (EDP Produção, 2015).

3.5 Sistemas auxiliares

Ao longo do estudo da instalação, vários foram os sistemas auxiliares da central que detalhadamente foram analisados de forma a compreender a sua afetação no sistema principal e a forma de controlo do mesmo. Nesta secção será apenas explicado o funcionamento do sistema bombas de alimentação da caldeira, as quais são acionadas por um motor elétrico ou através de uma turbina auxiliar que por sua vez está ligada a um condensador auxiliar. Na Figura 23, é apresentado um esquema do funcionamento da turbo-bomba o qual se encontra descrito no texto que se segue.

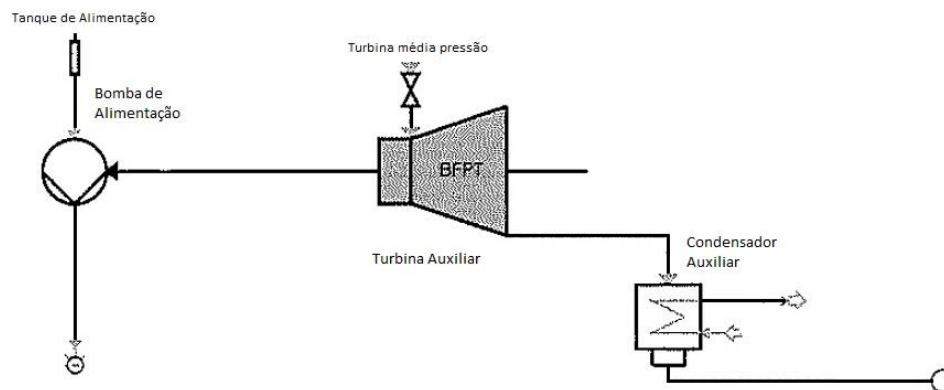


Figura 23 – Esquema representativo do sistema turbo-bomba.

De forma a obter a pressão necessária à entrada na caldeira, mais especificamente, no barrilete, a água, depois de sair do tanque de alimentação é conduzida a um sistema de bombas que aumentam a sua pressão dos 11 bar para os 190 bar (pressões absolutas). Este sistema é chamado sistema de bombas de alimentação, dada a função que desempenham, e é constituído por 2 bombas de acionamento por motor elétrico, as BAE (Bombas de Acionamento Elétrico) com 50% da capacidade, cada uma, e uma bomba acionada por uma turbina auxiliar a vapor designada por “turbo-bomba” (TRBB, ou do inglês *Boiler Feedpump Pressure Turbine*-BFPT) e com 100% da capacidade de carga total. A existência da turbo-bomba, pelo facto de não consumir energia elétrica, produto final, possibilita que, para a mesma carga da caldeira e o mesmo caudal de vapor, se disponibilize para a rede um acréscimo de potência correspondente à energia necessária à bombagem da água de alimentação, cerca de 10 MW, em carga máxima; de ter em conta que é retirado vapor da turbina de média pressão para alimentar a turbo-bomba, vapor este que iria produzir trabalho durante a expansão na turbina de média pressão caso não fosse extraído. A turbina de acionamento da bomba de alimentação, designada por turbina auxiliar, é uma turbina de condensação com um único corpo e com a potência igual à potência de alimentação da bomba, 10 MW. Está associada ao respetivo condensador também designado por condensador auxiliar que é refrigerado por água do mar, em paralelo com o condensador principal. A turbina dispõe dos próprios sistemas auxiliares, semelhantes aos da turbina principal, sendo o vapor consumido fornecido pela segunda extração da turbina de média pressão, ou pelas primeiras das turbinas de baixa pressão nas situações em que, pela carga solicitada o vapor disponibilizado não seja suficiente. Os condensados resultantes do vapor consumido são encaminhados para o condensador principal.

As bombas de alimentação elétricas asseguram os arranques e paragens do grupo quando não há vapor disponível para alimentar a turbina auxiliar, bem como o socorro automático à turbo-bomba em caso de disparo ou incapacidade de assegurar o fornecimento de água à caldeira. O controlo de carga e caudal das bombas elétricas e da turbo-bomba é feito por variação de velocidade. No caso da turbo-bomba por variação de velocidade da turbina e no caso das bombas elétricas equipadas com o motor de velocidade constante, através de um variador hidráulico. A velocidade é controlada em função da pressão diferencial entre a compressão das bombas e do barrilete, variando de forma a manter a compressão 30 bar acima do barrilete (EDP Produção, 2012).

3.6 Redução de emissões de poluentes

Desde o início do seu projeto, a melhoria contínua das performances técnicas e ambientais foi considerada essencial para a Central de Sines. Desde logo um conjunto de medidas para se minimizar o impacto ambiental da central foi tido em consideração e implementado:

- Sistema de despoeiramento no circuito de movimentação de carvão por barreira vegetal;
- Queimadores de baixo teor de óxidos de azoto (NO_x);
- Instalação de precipitadores eletrostáticos de alto rendimento para reduzir a emissão de poeiras;
- Chaminés de elevada altura (225 m) de modo a permitir a dispersão de fumos;
- Instalação de sistemas de insonorização dos componentes ruidosos;
- Utilização pela indústria cimenteira das cinzas volantes;

Com o avançar do tempo, tal como já referido neste capítulo, os requisitos ambientais tornaram-se cada vez mais rigorosos, o que obrigou a central a implementar alterações e a instalar novos sistemas de controlo de emissões de poluentes. Na presente secção serão descritas as principais medidas implementadas na central após a sua entrada em serviço, com vista a minimizar o impacto no meio ambiente. Designam-se por medidas primárias, aquelas que atuam diretamente no mecanismo de formação dos gases poluentes, e secundárias as que atuam sobre os gases já formados, modificando-os quimicamente.

3.6.1 Redução de NO_x

As primeiras medidas primárias implementadas tendo em vista a redução do NO_x tiveram início em 1997, no grupo 2, tendo sido estendidas nos anos seguintes aos restantes grupos, ao ritmo de uma implementação por ano. Constituíram essencialmente na substituição dos queimadores originais instalados na caldeira, por outros com características que minimizam as condições de formação dos óxidos de azoto, características estas que assentam na desvolatilização rápida na zona restrita, imediatamente à saída do queimador, zona esta que é mantida com elevado défice de oxigénio. Assim, a reação dos voláteis do combustível (a chama) dá-se numa atmosfera redutora minimizando-se a reação do azoto contido no carvão com o oxigénio do ar e a formação do NO_x. Dada a falta de oxigénio, para que seja possível completar a reação de combustão foi introduzido, na parte superior da fornalha, mais ar (cerca de 20% do total) designado *Over Fire Air* (OFA). Desta forma a combustão ocorre em dois estágios, no primeiro, imediatamente à saída do queimador com a reação das matérias gasosas onde os óxidos de azoto se formam quase exclusivamente, e no segundo, que ocorre na parte superior da fornalha com os materiais que já foram desvolatilizados em contacto com o ar aquecido, onde a formação de NO_x é mínima. Com a introdução destes equipamentos foi possível reduzir as emissões de NO_x de 1500 mg/m³ para cerca de 600 mg/m³ (a 0 °C e 1 atm) corrigidos então para 6% de oxigénio (@6% O₂).

Posteriormente, em 2004, foi introduzido um melhoramento que permitiu reduzir as emissões de NO_x para menos de 500 mg/m³ (a 0 °C e 1 atm). Este melhoramento consistiu na instalação de dois ventiladores que possibilitam a introdução do ar na parte superior da fornalha a uma velocidade mais elevada, promovendo uma melhor mistura e consequentemente uma combustão mais eficaz. Este sistema, denominado *Boosted Over Fired Air* (BOFA) veio então substituir o já existente OFA.

3.6.2 Desnitrificação

Os requisitos ambientais entretanto impuseram novos valores limite de emissões. Assim, no sentido de viabilizar a extensão da vida útil da central para além de 2015, a EDP decidiu implementar os equipamentos relacionados com a redução das emissões de NO_x, necessários ao cumprimento destes novos valores limite.

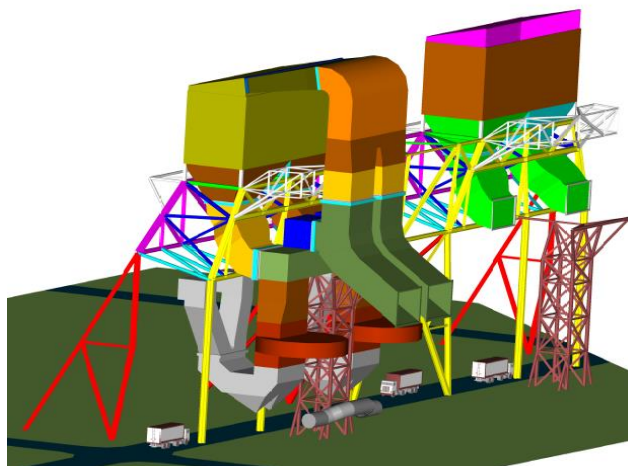
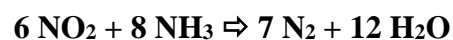
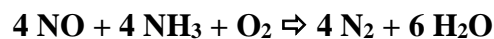


Figura 24 – Esquema tridimensional de projeto do sistema de desnitrificação, (EDP Produção, 2015).

O processo de desnitrificação instalado em toda a central ao longo do ano de 2010 (Figura 24) veio constituir a mais recente medida secundária, ou também chamada de medida de fim de linha, no sentido de diminuir o impacto ambiental da central. Este processo, instalado entre a saída da caldeira e a entrada do aquecedor regenerativo de ar (esquema visível na figura 25 à esquerda), assenta no método de Redução Catalítica Seletiva (SCR), o qual reduz a quantidade de óxidos de azoto (NO e NO_2) existentes nos gases provenientes da queima de combustível fóssil. O método SCR utiliza amónia (concentração mássica <25%) como redutor, para converter NO_x em azoto (N_2) e vapor de água (H_2O) na superfície do agente catalisador. A amónia, antes de ser introduzida na conduta de gases de combustão a montante do reator SCR, é diluída com ar, de modo a facilitar a sua distribuição. Na superfície do agente catalítico ocorrem as primeiras reações químicas expressas pelas seguintes equações:



O consumo de amónia, para um teor de NO_x nos gases de entrada no reator de $500 \text{ mg/m}^3 @ 6\% \text{O}_2$ é de aproximadamente $1 \text{ m}^3/\text{h}$. Esta amónia é transportada por camiões até à central e descarregada para tanques de armazenamento com capacidade total de 700 m^3 , de onde segue para os postos de preparação de cada grupo.

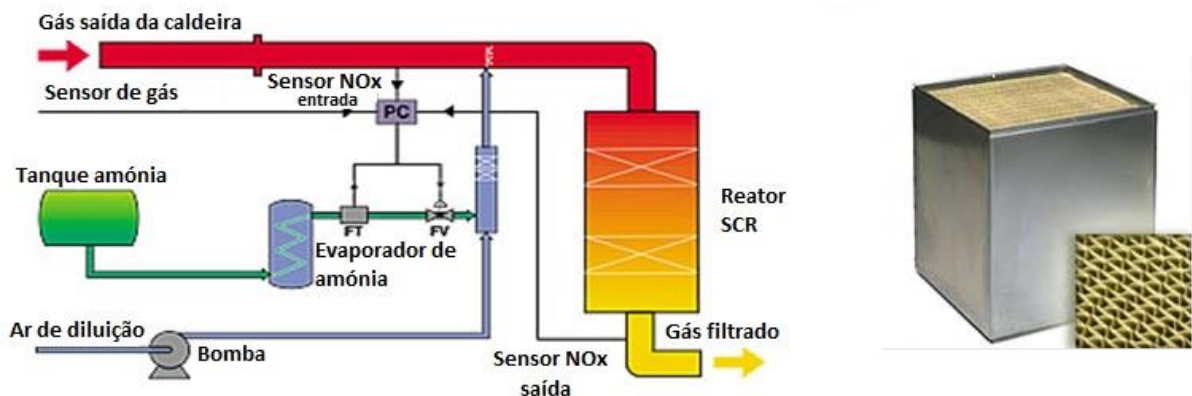


Figura 25 – À esquerda um esquema representativo do funcionamento do sistema de desnitrificação, à direita um catalisador, (EDP Produção, 2015).

O principal componente do sistema SCR é o catalisador (figura acima à direita), constituído por módulos de elementos formados tipicamente por uma fase ativa de pentóxido de vanádio sobre um material de suporte, e por dióxido de titânio. Em cada reator existem duas camadas de catalisador mais uma camada de reserva não equipada. A injeção é feita através de uma malha de injetores com caudais individualmente ajustados, de forma a garantir uma mistura perfeita com os gases, obtendo-se assim uma reação completa dos óxidos de azoto. O reator é constituído por uma malha fina, formada pelo material catalítico, malha essa suscetível de obstrução pela cinza transportada pelos gases. Para minimizar essa possibilidade, este componente está equipado com um sistema de limpeza acústico que, por vibração, evita a deposição de cinza nos elementos ativos do reator.

Depois de instalado o sistema SCR, as concentrações de NO_x emitidas por cada chaminé da central passaram a rondar os 150 mg/m^3 , face aos valores limite de 200 mg/Nm^3 (m^3 a 0°C e 1atm) impostos para a bolha de ar atribuída a Sines (Wikienergia, 2015).

3.6.3 Dessulfuração

O projeto de dessulfuração, ao reduzir de forma significativa as emissões de dióxido de enxofre (SO_2) nos gases produzidos pela combustão do carvão, garante o funcionamento da central em concordância com as exigências ambientais lançadas em 2003 relativamente à redução da concentração máxima admissível deste poluente, emitida para a atmosfera.

Com base nas condições de operação da central de Sines, a dessulfuração pelo processo calcário/gesso (via húmida) permite obter uma elevada eficiência de remoção de dióxido de enxofre, superior a 90%. Este processo consiste, basicamente, na remoção do dióxido de enxofre dos gases de combustão através da reação com um absorvente alcalino, neste caso, uma suspensão aquosa de calcário, obtendo-se gesso como subproduto. Os gases de combustão provenientes dos precipitadores eletrostáticos, a uma temperatura de 160°C , passam por um aquecedor regenerativo gás-gás (GGH) onde são arrefecidos para cerca de 100°C antes da sua entrada no absorvedor, permitindo desta forma reduzir a quantidade de água requerida no processo.

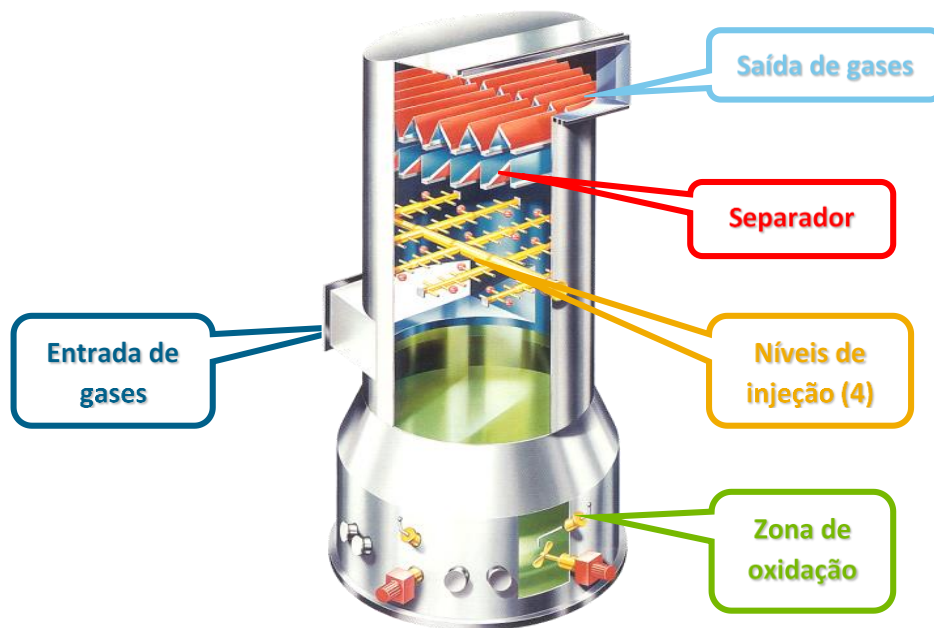


Figura 26 – Representação de um sistema de dessulfuração.

No absorvedor (Figura 26), os gases são colocados em contra corrente com uma suspensão aquosa de calcário finamente pulverizada, de forma a promover a reação química do o carbonato de cálcio, componente do calcário, com o dióxido de enxofre presente nos gases. Para facilitar a reação, a suspensão aquosa de calcário existente no absorvedor é reciclada por bombagem e continuamente pulverizada no fluxo dos gases. Após saírem do

absorvedor, os gases limpos que se encontram à temperatura de aproximadamente 47 °C, são reaquecidos no GGH, permutando calor com os gases quentes não tratados a montante, atingindo uma temperatura de 80 °C, necessária para garantir as condições que permitam a sua circulação natural pela chaminé.

Os produtos de reação formados, essencialmente o sulfito de cálcio (CaSO_3) e o hidrogenossulfito de cálcio [$\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$], são oxidados pela introdução de ar na base do absorvedor, dando origem à formação do sulfato de cálcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), também denominado gesso. À medida que a suspensão de calcário se vai convertendo em gesso, vai sendo continuamente removida do absorvedor através das bombas de gesso. O produto bombeado do absorvedor é armazenado nos tanques de suspensão de gesso. Esta suspensão é depois bombeada dos tanques de suspensão de gesso para os filtros de vácuo de onde resulta um gesso desidratado, com teor de humidade inferior a 10%. Os filtros de vácuo consistem num tapete, de onde a água vai sendo removida através da tela porosa, Figura 27.



Figura 27 – Fotografia do filtro de vácuo do sistema de aproveitamento de gesso, (EDP Produção, 2015).

O gesso na sua fase final é depositado num silo construído em betão com 24 m de diâmetro e 15,25 m de altura, com capacidade correspondente a uma autonomia de 10 dias à carga nominal dos 4 grupos. Daqui é descarregado para camiões ou comboios e encaminhado para a indústria nacional ou para exportação.

Uma sequência de figuras (Figuras 69 a 80) está disposta na secção Anexo A constituindo um conjunto mais alargado de imagens da central de Sines.

4 Modelação Termodinâmica da Central de Sines

O capítulo que se segue procura fazer, de uma forma o mais detalhada possível, a contextualização e descrição do trabalho de modelação termodinâmica do Centro Eletroprodutor de Sines, desde a formação inicial no programa a utilizar, realizada nas primeiras semanas do estágio, até à obtenção do modelo final validado. O programa utilizado para a construção do modelo proposto pela empresa foi o *Thermoflow 24*, o qual é brevemente descrito no texto que se segue. Serão ainda apresentados e explicados os principais passos percorridos no sentido de obter um modelo fiável e totalmente validado da Central de Sines.

4.1 Thermoflow 24

O programa *Thermoflow 24* foi desenvolvido pela empresa norte-americana *Thermoflow Inc.*, empresa líder no desenvolvimento de programas de simulação térmica com aplicação na indústria de produção de energia elétrica e instalações de cogeração. Desde 1987 que esta empresa se dedica ao desenvolvimento de programas que simulam, com cada vez mais precisão e detalhe, um conjunto cada vez mais alargado de instalações térmicas, incluindo sistemas auxiliares e parâmetros técnico-económicos para a sua construção. O programa vai na versão 24 e encontra-se em constante desenvolvimento e revisão por parte da empresa (Thermoflow, 2015).

O *Thermoflow* é na verdade um conjunto de vários módulos que, dependendo do tipo de sistema que se pretende projetar ou simular, o utilizador pode escolher. Assim, é disponibilizado pela empresa um programa para simulação de projeto e controlo de instalações de ciclo combinado (*GT Pro* e *GT Master*) e instalações de ciclo a vapor (*Steam Pro* e *Steam Master*), que funcionam de uma forma muito semelhante, e nos quais é possível, de forma simples e intuitiva, introduzir os dados necessários de forma a conduzir o programa ao resultado final da instalação térmica pretendida, com mais ou menos precisão, dependendo do nível de detalhe da informação utilizada como informação de entrada. Mais à frente neste capítulo, será explicada em mais detalhe a forma como os dados foram introduzidos e o modelo construído no caso prático deste trabalho. Utilizaram-se o *Steam Pro* e o *Steam Master* uma vez que o presente estudo incidiu sobre a simulação da Central Termoelétrica de Sines, que compreende 4 grupos convencionais a vapor, descritos no capítulo anterior. Importa desde já deixar clara a distinção entre estes dois módulos do programa.

O *Steam Pro* pretende, através da introdução de parâmetros gerais de projeto da central, seguindo-se uma sequência lógica e organizada, dimensionar e fazer um primeiro esboço do projeto de uma central a vapor. Nesta fase introduz-se informação geral relativa, por exemplo, à caracterização geográfica e climática do local de instalação, caracterização do combustível a utilizar, tipo de sistema de arrefecimento ou condensação, condições de pressão e temperatura desejadas para a entrada e saída das turbinas, tipos de permutadores de calor e temperaturas de projeto dos mesmos e caracterização preliminar da caldeira (tipo, componentes que a constituem e sua localização). Consoante o nível de detalhe que se pretenda obter, pode-se introduzir informação mais pormenorizada, nomeadamente a nível de sistemas auxiliares e de bombagem, nos quais o programa assume valores típicos por defeito que o utilizador pode alterar caso pretenda um resultado mais personalizado. É importante referir que, no caso de se estar a simular uma central já existente (caso prático do presente trabalho), este módulo permite desde logo caracterizar com maior detalhe alguns componentes principais da instalação, como condensadores e permutadores de calor (parâmetros construtivos). Por isso, dependendo da metodologia de simulação adotada, o programa pode aproximar mais ou menos a simulação da configuração da central àquela que se pretende estudar.

Depois de obtida uma configuração geral da central, passa-se para o *Steam Master*, o qual funciona num modo *Off-Design*. Isto significa que o dimensionamento geral da central, obtido através do *Steam Pro*, fica agora fixo, atuando-se apenas nos parâmetros físicos dos equipamentos ou métodos de controlo dos mesmos. É nesta fase que, caso se esteja a modelar uma central existente, se introduzem parâmetros reais dos equipamentos, tais como, comprimentos, diâmetros e número de tubos dos vários componentes da caldeira, dos condensadores e permutadores de calor. Introduzem-se ainda no programa dados sobre os tipos de isolamento dos equipamentos, perdas de carga das tubagens, entre muitas outras

características, sendo assim possível alterar valores que o programa assume por defeito, de forma a obter-se um modelo mais detalhado e completo. São ainda possíveis ajustes nos métodos de controlo de funcionamento dos equipamentos, como por exemplo, regulação de temperatura e pressão do vapor à entrada das turbinas. Da mesma forma, pode-se escolher o método de operação do sistema no seu geral, isto é, através da introdução de uma variável independente, que pode ser por exemplo ser a potência produzida, o modelo, respeitando os modos de funcionamento impostos para cada equipamento, ajusta-se de forma a chegar ao regime de carga pretendido. O mesmo controlo pode ser feito também por imposição da quantidade de vapor à entrada da turbina de alta pressão, caudal de ar e combustível ou percentagem de calor introduzido pelo combustível relativamente ao ponto de desenho do modelo em *Steam Pro*.

Para além destes dois módulos existem mais dois módulos que permitem elevar o grau de detalhe e polivalência do projeto a um nível dito máximo, o *Thermoflex* e o *Peace*.

O *Thermoflex* consiste num programa que através de uma extensa e completa biblioteca de componentes termodinâmicos se pode construir, de uma forma simples, um ciclo termodinâmico qualquer pretendido, simplesmente arrastando blocos para a tela principal e ligando-os da forma pretendida. Este programa, para além de permitir simular qualquer tipo de ciclo ou tecnologia de uma forma totalmente livre e flexível (geotérmica, nuclear, solar), tem ainda a possibilidade de importar e converter projetos criados nos módulos anteriores e fazer alterações específicas ao projeto, tais como adição de novas unidades não existentes nos outros módulos.

O *Peace* é essencialmente um programa que, correndo em paralelo com os restantes módulos, permite a formulação e cálculo de um relatório financeiro ou orçamento da instalação projetada. Através da introdução de poucos dados, tais como a unidade monetária a utilizar e a sua taxa de conversão atual, o programa acompanha todos os equipamentos que vão sendo introduzidos e por meio de cálculos algo complexos, apresenta um relatório de contas da instalação que inclui uma análise de investimento e manutenção. Este módulo não será utilizado no presente projeto, pelo que não será também descrito em grande detalhe.

4.2 Metodologia de modelação utilizada

No presente caso, das 3 metodologias de modelação sugeridas pelo programa que regulam o procedimento de desenho dos equipamentos e a relação entre as características dos equipamentos com o balanço térmico (Figura 28), foi adotada a segunda opção, “2 – *User’s assumptions prevail in Steam Pro, but hardware/engineering results prevail in Steam Master*”.

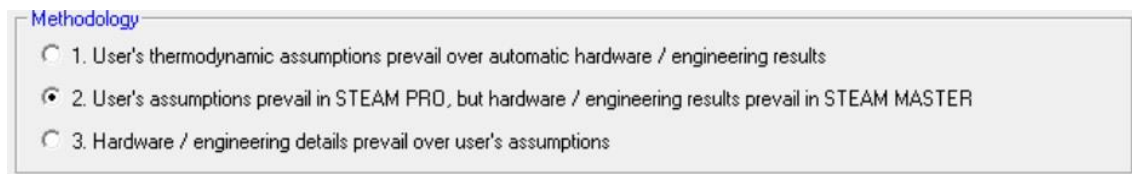


Figura 28 – Metodologias de modelação sugeridas pelo programa.

Esta metodologia sobrepõe os parâmetros termodinâmicos introduzidos no programa pelo utilizador aos parâmetros de engenharia dos equipamentos para o *Steam Pro* e vice-versa para o *Steam Master*. Isto significa que, durante as simulações corridas no *Steam Pro*, o cálculo efetuado pelo programa terá em consideração as condições dos pontos de funcionamento impostas pelo utilizador para dimensionar um equipamento, em vez utilizar os parâmetros físicos dos equipamentos para limitar as características termodinâmicas de saída. A lógica inversa ocorre no *Steam Master*, onde o programa utiliza os dados de entrada relacionados com a caracterização física do equipamento para obter os resultados dos processos que aqui ocorrem.

Esta metodologia permite uma segmentação da modelação, tornando-a mais flexível e dinâmica em termos de resultados. Para a modelação de centrais existentes esta metodologia torna-se vantajosa na medida em que permite fazer um esboço inicial da central que assenta nos parâmetros térmicos do ciclo que se pretende estudar, conduzindo o programa a um desenho da central o mais parecido possível com a realidade, e depois, numa segunda fase, substituir os equipamentos que o programa desenhou pelos equipamentos reais da central em modelação. Desta forma, consegue-se não só simplificar o processo de recolha de informação sobre todos os equipamentos da instalação (pois os parâmetros já estão próximos dos reais), como também segmentar a complexidade da modelação.

4.3 Construção e validação do modelo

A presente secção procura relatar a forma como foi construído o modelo termodinâmico da Central de Sines utilizando o programa acima descrito. Numa fase inicial, será exposta a linha temporal que foi seguida para que fosse possível a construção do modelo no tempo proposto e posteriormente analisado em mais detalhe, cada um dos passos que levaram à obtenção do modelo final.

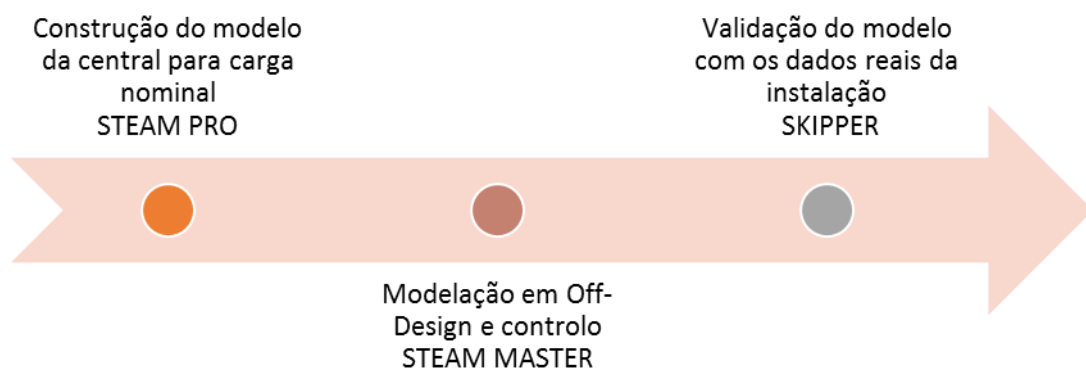


Figura 29 – Sequência da modelação da central de Sines.

Conforme sugere a figura acima, a construção do modelo contemplou 3 fases principais que, ao longo do período de estágio, permitiram obter um modelo com um grau de precisão bastante satisfatório. A primeira fase, que durou aproximadamente 3 semanas, consistiu na utilização do balanço térmico mais recente do ciclo da central para uma definição inicial da configuração da central à carga nominal. A segunda fase, que exigiu um pouco mais de tempo, dada a dificuldade encontrada na recolha de informação relativa aos parâmetros físicos dos equipamentos da central, cerca de 5 semanas, consistiu essencialmente em duas partes: a introdução e caracterização de todos os equipamentos existentes na central, e o seu ajuste de funcionamento para que se obtivessem os resultados de funcionamento desejados. Finalmente, numa terceira fase, o modelo já construído foi sujeito a uma comparação de resultados com os dados medidos na instalação, disponibilizados pela EDP a partir da plataforma de monitorização de dados em tempo real dos centros produtores, o *Skipper*. Depois de realizados os devidos ajustes, obteve-se o dito modelo final validado. Em seguida faz-se uma análise mais pormenorizada de cada uma das etapas mencionadas.

4.3.1 Construção do modelo da central para carga nominal (*STEAM PRO*)

Esta primeira etapa teve como objetivo a construção de um esboço inicial do modelo da central para a carga nominal de funcionamento que coincidissem com os parâmetros termodinâmicos previstos para o comportamento real da central. Para isto, e de forma a ser possível obter os parâmetros (pressões, temperaturas e entalpias) relativos a todos os pontos necessários à configuração inicial do sistema, recorreu-se ao balanço termodinâmico mais atual disponibilizado pela empresa, presente num relatório de 2005 realizado pela Alstom (balanço disponível na Figura 81 do Anexo B). O método de construção do modelo, nesta fase, consistiu na fixação do caudal de entrada na turbina de alta pressão e posterior ajuste de todas as variáveis termodinâmicas do ciclo, de forma a obter-se a potência produzida indicada no balanço. Por exemplo, a nível das turbinas, depois de se introduzirem os valores de pressão e temperatura à entrada das turbinas, ajustaram-se os rendimentos isentrópicos e as entalpias de saída em cada andar de expansão no modelo, por forma a obterem-se potências debitadas idênticas às indicadas pelo balanço. Nas Figuras 30 e 31 encontram-se impressões da janela do programa aquando da modelação das turbinas para a carga nominal.

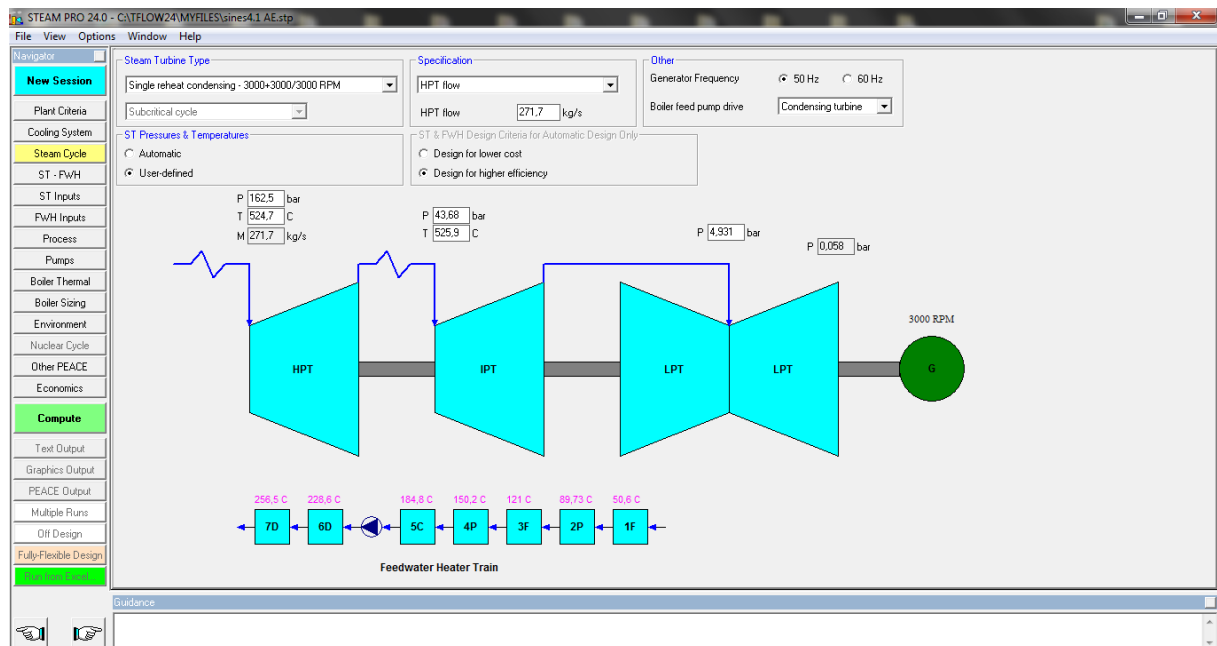


Figura 30 – Janela de caracterização das turbinas - *Steam Pro*.

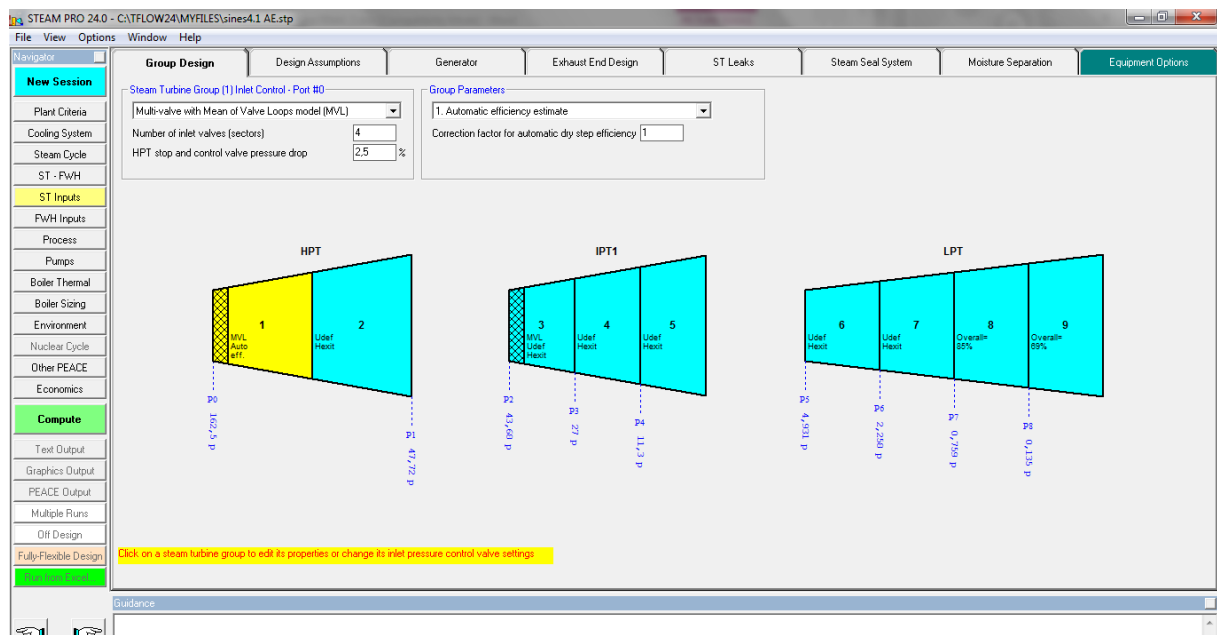


Figura 31 – Janela de caracterização das turbinas - *Steam Pro*.

A mesma filosofia de modelação foi levada a cabo para o condensador, onde se caracterizou o tipo de sistema de condensação (permutador com circuito de refrigeração aberto e sem arrefecimento forçado), pressão de entrada e um diferencial máximo de temperatura admissível na água de refrigeração de 10 °C, Figura 32). Para além disso, de forma a adiantar algum trabalho que viria a ser feito na fase seguinte da modelação, introduziu-se toda a caracterização física deste equipamento, parâmetros visíveis na Figura 33. De realçar que, segundo a metodologia de modelação adotada, esta informação não foi utilizada pelo *Steam Pro*, ficando no entanto pronta para ser utilizada no *Steam Master*.

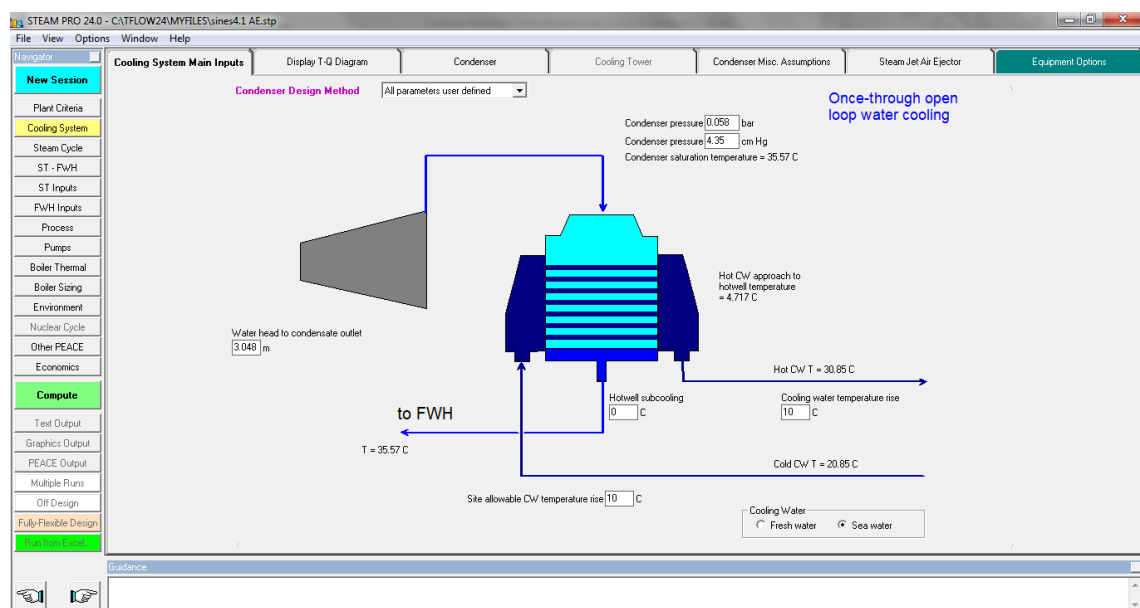


Figura 32 – Janela de caracterização do condensador - *Steam Pro*.

STEAM PRO 24.0 - C:\TFlow24\MyFiles\sines41.1 AE.stp

File View Options Window Help

Navigator

New Session

Plant Criteria

Cooling System

Steam Cycle

ST - FWH

ST Inputs

FWH Inputs

Process

Pumps

Boiler Thermal

Boiler Sizing

Environment

Nuclear Cycle

Other PEACE

Economics

Compute

Text Output

Graphics Output

PEACE Output

Multiple Runs

Off Design

Fully-Flexible Design

Cooling System Main Inputs

Display T-Q Diagram

Condenser

Cooling Tower

Condenser Misc. Assumptions

Steam Jet Air Ejector

Equipment Options

Hardware Design Method

☐ Automatic ☒ User-defined

Tube Material: Titanium

Tube Type: Seam welded

☐ Apply fouling factor: 1.761E-4 m²C/W

☒ Apply cleanliness factor: 80 %

Tube outer diameter: 24 mm

Tube thickness: 0.7 mm

Tube pitch/outside diameter: 1.6

Tube metal conductivity: 21.63 W/m-C

Tube water velocity: 2.16 m/s

Number of condenser passes: 2

Condenser external h.t.c. (0=auto): 0 W/m²C

Tube bundle h.t.c. / Single tube h.t.c.: 0.875

Non-condensable Removal

☐ Mechanical vacuum pump

☒ Steam jet air ejector

Aspect ratio of uniformly-spaced tube bundle (Height/Width): 1

Condenser cross section / Uniformly-spaced tube bundle cross section: 1.56

Hotwell condensate storage requirement: 5 min

Mole percent (y) of non-condensable gases: 0 %

C in h.t.c. correction factor (H=1/(1+Cy)): 0.51

Condenser Heat Transfer Calculation

☐ Hardware model

☒ HEI method

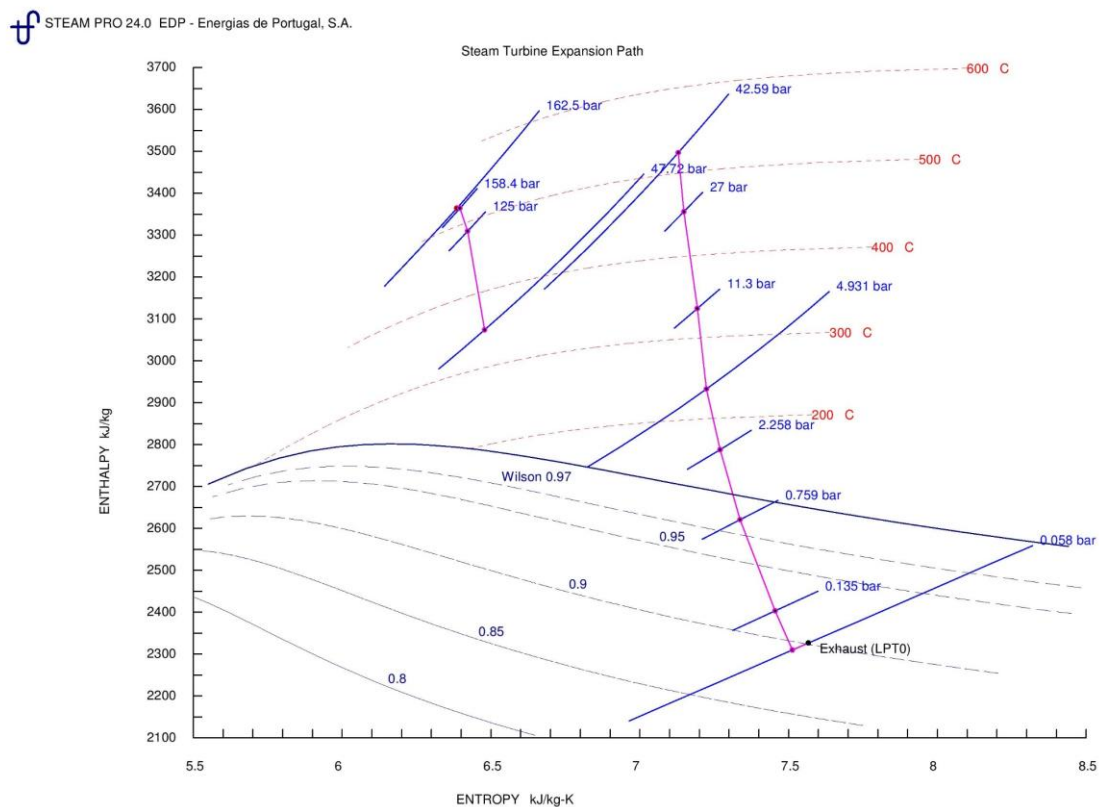
Figura 33 – Janela de caracterização do condensador - *Steam Pro*.

Na Tabela 4 é possível consultar a informação que foi introduzida nesta fase da modelação, ordenada por equipamento e referindo o documento de onde esta foi retirada. No Anexo B encontra-se uma sequência de impressões que acompanham o percurso de modelação dos vários componentes da central no *Steam Pro* (Figuras 83 a 86).

Tabela 4 - Documentos de origem das propriedades de funcionamento introduzidas no *Steam Pro*.

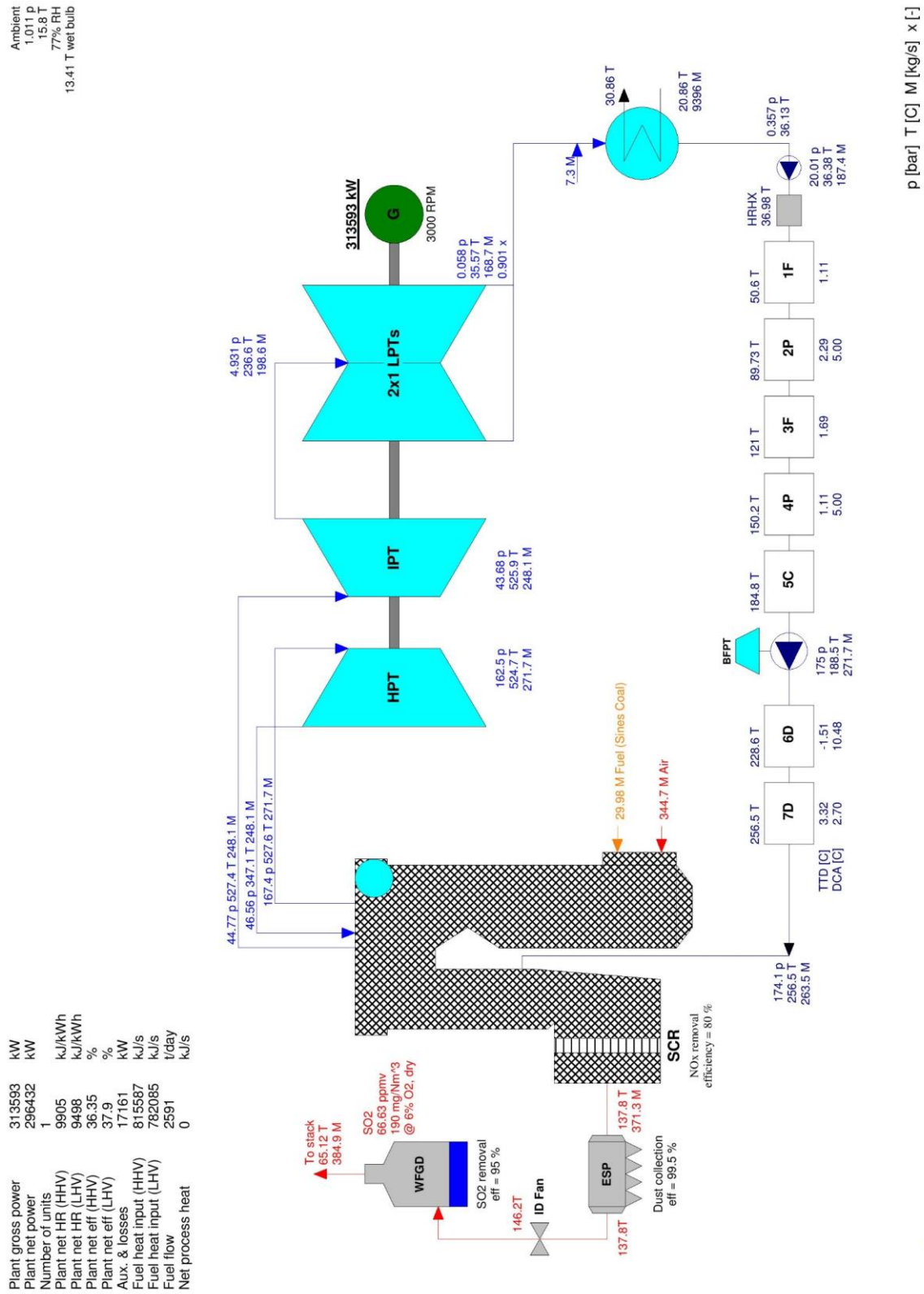
Secção	Propriedade	Documento de origem
Localização	Temperatura ambiente	(EDP, 2003)
	Altitude	(EDP, 2003)
	Humidade relativa	(EDP, 2003)
	Temperatura da água do mar	(EDP, 2003)
	Salinidade da água do mar	(EDP, 2003)
Combustível	Percentagem mássica dos constituintes	(EDP, 2006)
	PCI	(EDP, 2006)
Condensador	Pressão de entrada	(Alstom, 2005)
	Variação de temperatura da água do mar	(Alstom, 2005)
	Dimensões do equipamento	(EDP, 1986)
Turbinas	Propriedades termodinâmicas de entrada e saída	(Alstom, 2005)
	Características das válvulas de regulação de caudal	(EDP, 1986)
	Rendimento do gerador	(EDP, 1986)
	Características do sistema de fugas	(EDP, 1986)
Pré-Aquecedores	Pressões e temperaturas de entrada e saída	(EDP, 1986)
	Dimensões do equipamento	(EDP, 1986)
Bombas	Curvas de perda de carga	(EDP, 1986)
	Curvas de rendimento	(EDP, 1986)
Caldeira	Tipo	(EDP, 1986)
	Percentagem de excesso de ar	(EDP, 1986)
	Dimensões gerais (carcaça)	(EDP, 2002)
	Distribuição dos caudais de injeção de água	(EDP, 1986)
Moinhos	Rendimentos dos ventiladores de ar	(EDP, 1986)
	Condições de saída do carvão	(EDP, 1986)
Tratamento dos gases de combustão	Características do sistema SCR	(EDP, 2007)
	Características do sistema ESP	(EDP, 2007)
	Características do sistema FGD	(EDP, 2007)

Depois do trabalho de procura de informação e sua introdução no programa, seguiu-se uma fase de afinações do modelo para que os seus resultados correspondessem aos valores indicados pelo balanço. As principais afinações feitas nesta fase corresponderam à expansão do vapor nas turbinas de forma a garantir tanto uma distribuição correta do caudal nas sucessivas extrações como os respetivos valores de pressão. O diagrama das expansões do vapor $h-s$ encontra-se visível na Figura 34. Este ajuste permitiu obter uma instalação dimensionada com um resultado que revela um grau de aproximação ao modelo base bastante satisfatório, apresentado na Figura 35. Do conjunto diversificado de resultados que o programa apresenta, no qual se inclui o já referido diagrama $h-s$, apresenta-se ainda o resultado da análise de primeira lei realizado pelo programa e a caracterização de funcionamento da bomba de alimentação da caldeira, Figuras 85 e 86 no Anexo B.



2538 03-31-2015 18:21:48 C:\TFlow24\MYFILES\sines4.1.stp

Figura 34 – Diagrama $h-s$ da expansão do vapor, resultado da simulação - *Steam Pro*.



STEAM PRO 24.0 EDP - Energias de Portugal, S.A. EDP - Gestao da Producao de Energia S.A.
 2538 03-31-2015 18:21:48 C:\TFlow24\MYFILES\sines4.1.sp

Figura 35 – Resultados gerais da simulação - *Steam Pro*.

De forma a tornar a análise e comparação dos resultados obtidos mais simples e direta são apresentados na Tabela 5 os valores mais relevantes das variáveis de saída do modelo, assim como os respetivos valores do modelo que se teve por base (Figura 35). De salientar que nesta fase da modelação apenas se pretende analisar o ciclo água-vapor, pelo que toda a parte relativa à combustão será abordada mais à frente.

Tabela 5 - Comparação dos resultados do *Steam Pro* com os valores do balanço térmico.

	Steam Pro	Balanço Térmico		Erro [%]
Caudal de entrada turbina alta pressão	271,7	271,7		
Caudal entrada turbina média pressão	248,1	250,1	[kg/s]	-0,80%
Caudal entrada turbina baixa pressão	198,6	198,5	[kg/s]	0,05%
Caudal saída turbina baixa pressão	168,7	168,2	[kg/s]	0,30%
Temperatura saída turbina baixa pressão	35,57	35,53	[kg/s]	0,11%
Temperatura água entrada BP1	36,98	36,99	[°C]	-0,03%
Caudal água entrada BP1	187,4	186,4	[°C]	0,54%
Temperatura água saída AP7	256,5	256,4	[kg/s]	0,04%
Caudal água saída AP7	263,5	259,6	[°C]	1,50%
Pressão vapor entrada BP1	0,134	0,133	[kg/s]	0,75%
Pressão vapor entrada BP2	0,757	0,748	[bar]	1,20%
Pressão vapor entrada BP3	2,161	2,163	[bar]	-0,09%
Pressão vapor entrada BP4	4,931	4,923	[bar]	0,16%
Pressão vapor entrada Tanque Alimentação	11,18	11,19	[bar]	-0,09%
Pressão vapor entrada AP6	26,51	26,5	[bar]	0,04%
Pressão vapor entrada AP7	46,79	46,84	[bar]	-0,11%
Potência bruta	313593	313301	[bar]	0,09%

4.3.2 Modelação em *Off-Design* e controlo (*STEAM MASTER*)

Depois de obtido um desenho preliminar da central com um grau de aproximação satisfatório, projetado para a carga nominal de funcionamento de um grupo (aproximadamente 314 MW), passou-se à segunda fase da modelação do sistema. Transferindo o projeto do *Steam Pro* para o *Steam Master*, passou-se então a modelar em *Off-Design*. Tal como referido anteriormente, neste modo o dimensionamento geral da central fica fixo, só se podendo editar, caso se pretenda, os parâmetros construtivos dos equipamentos, de modo a tornar os processos termodinâmicos que ocorrem ao longo do ciclo apenas dependentes do equipamento que se está a utilizar e da forma como se controlam os mesmos. No condensador, por exemplo, que anteriormente já se encontrava praticamente dimensionado, mas a funcionar em função das condições termodinâmicas impostas, fica agora totalmente determinada a troca de calor que aqui ocorre em função das condições de entrada de vapor (reguladas através da turbina), dos parâmetros físicos do equipamento como número de tubos, material, dimensões, entre outros (neste caso aproveitados do *Steam Pro*, pois já haviam sido introduzidos) e das condições de entrada da água de arrefecimento. O mesmo raciocínio seguido no caso do condensador aplica-se aos restantes permutadores de calor do ciclo, assim como em todos os sistemas auxiliares da instalação (bombas, condensador auxiliar). A turbina, já ajustada na fase anterior de modelação, pode agora ser regulada por andar de expansão, através da área transversal de abertura das pás de cada roda ou diretamente através do rendimento isentrópico do andar de expansão.

Foi, no entanto, a caldeira que constituiu o elemento de maior complexidade nesta fase da modelação. Apenas considerada como uma caixa negra na simulação do *Steam Pro*, no qual se caracterizou o tipo de caldeira a utilizar, somente alguns parâmetros relevantes para o cálculo do calor libertado na combustão e os componentes a utilizar e o seu posicionamento no interior da caldeira foram então fornecidos, Figura 36. É no *Steam Master* que se introduz todo o pormenor construtivo e de definição da caldeira. Desde as dimensões gerais da fornalha e da zona de convecção até ao dimensionamento e caracterização dos tubos de cada componente onde ocorre a transferência de calor ao longo do trajeto da caldeira (já explicado no capítulo 3). Uma impressão da janela do programa que caracteriza os componentes da caldeira foi retirada durante esta fase da modelação e encontra-se representada na Figura 37.

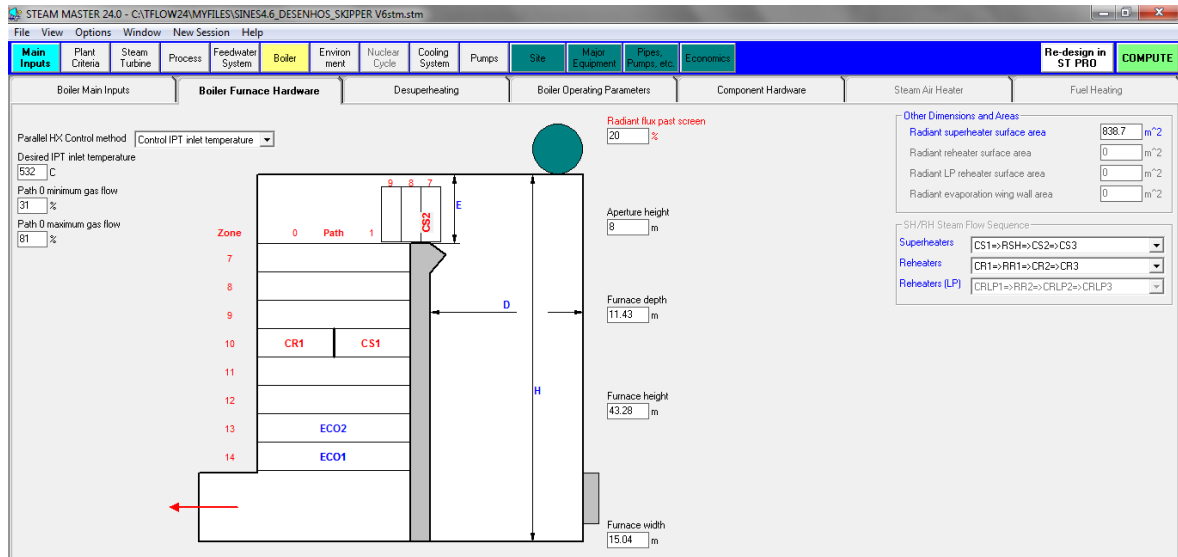


Figura 36 – Janela de caracterização geral da caldeira - *Steam Master*.

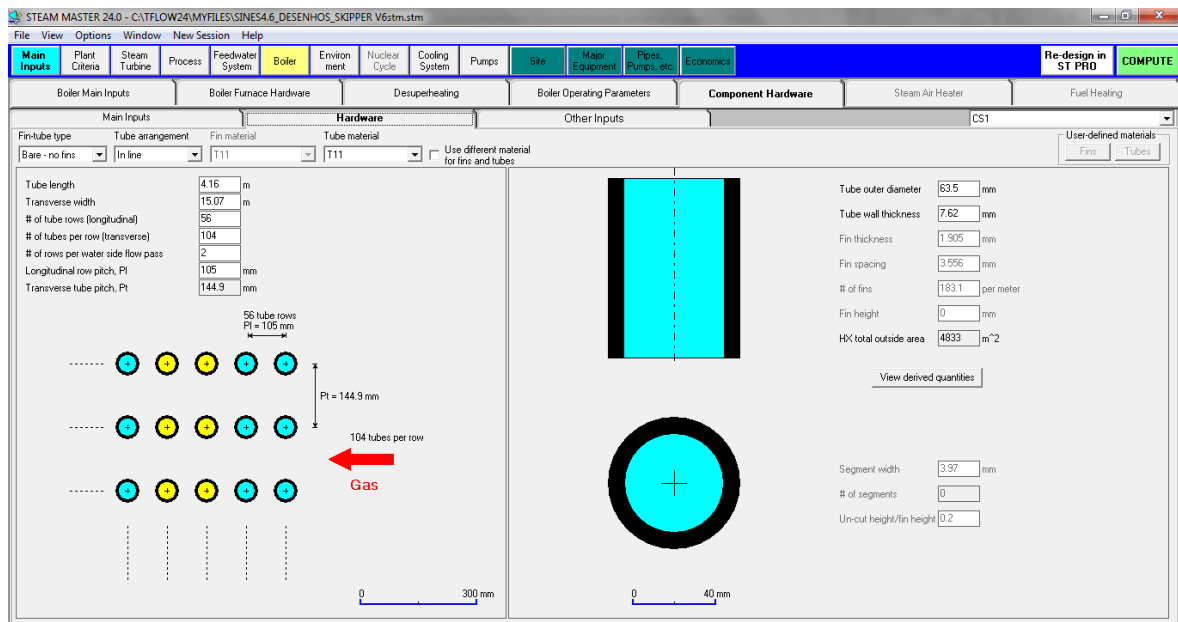


Figura 37 – Janela de caracterização dos componentes da caldeira - *Steam Master*.

É também nesta fase que se caracteriza o sistema de pulverização do carvão (Figura 38) e o sistema de ar a utilizar na caldeira e moinhos (aquecedor de ar regenerativo).

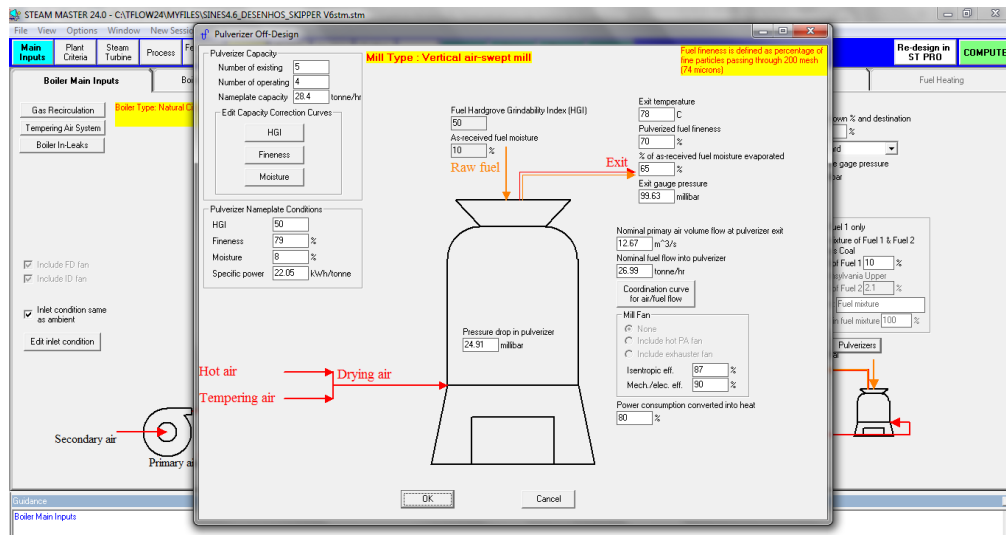


Figura 38 – Janela de caracterização do sistema de pulverização do carvão - *Steam Master*.

Depois de devidamente caracterizados todos os equipamentos e realizados os ajustes necessários, obtiveram-se os seguintes resultados no modelo para uma corrida com uma potência bruta imposta de igual valor ao obtido no *Steam Pro* (carga nominal de projeto), representados nas Figuras 39 e 40.

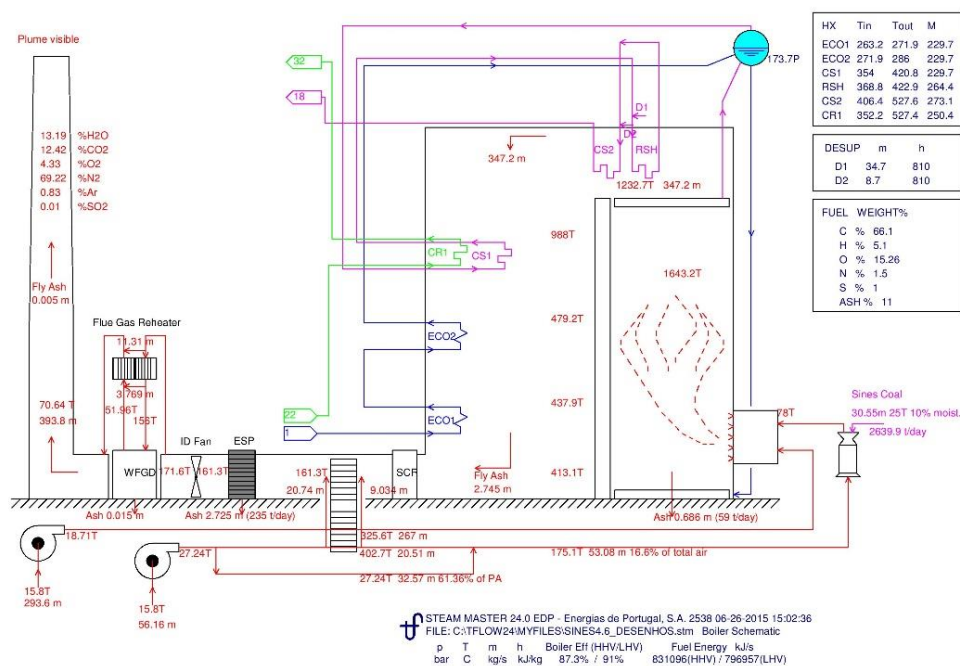


Figura 39 – Representação gráfica dos resultados da caldeira da simulação - *Steam Master*.

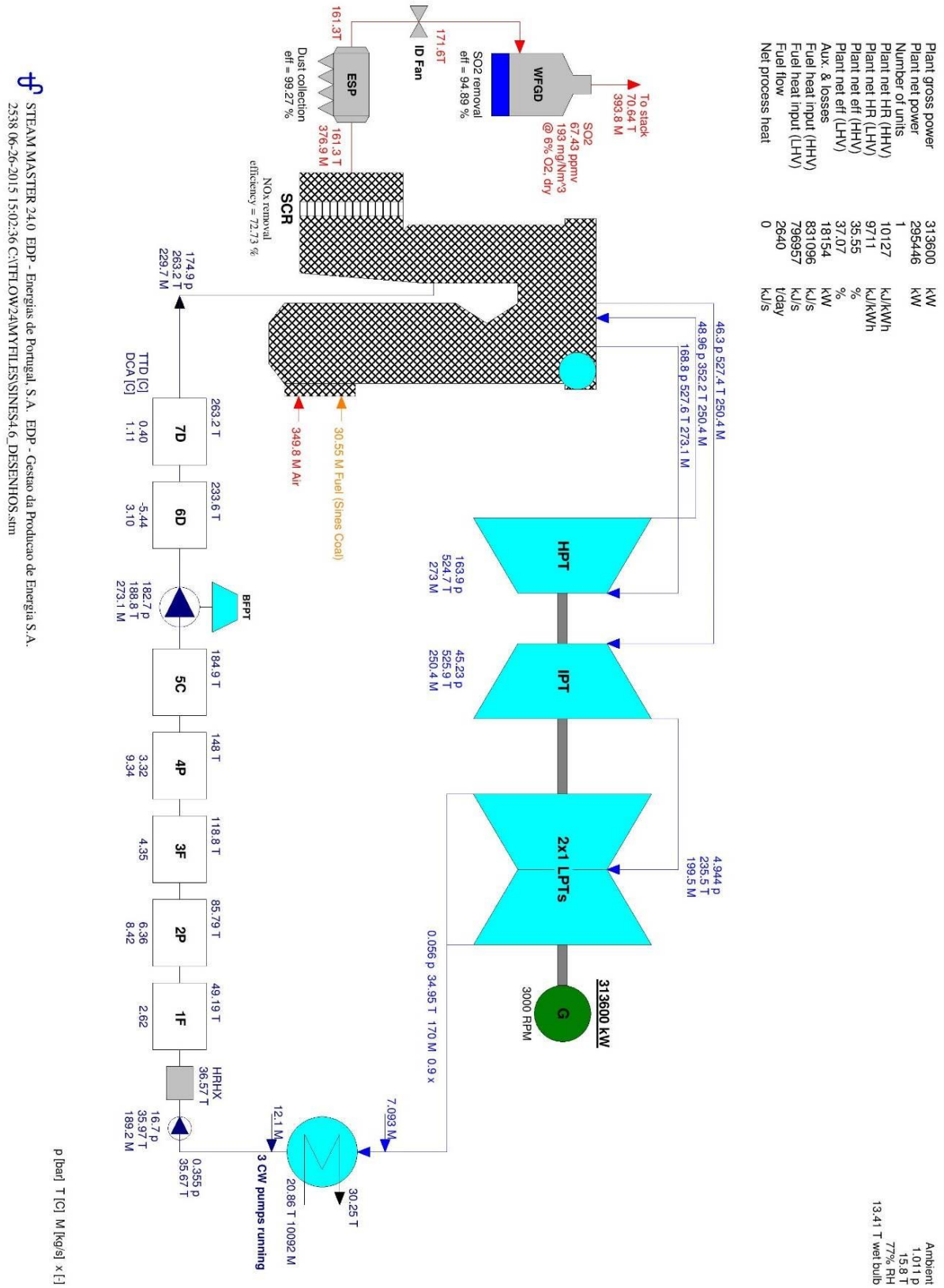


Figura 40 – Representação gráfica geral dos resultados da simulação – *Steam Master*.

De salientar que, apesar de o objetivo desta simulação ser o de se aproximar o mais possível ao balanço térmico tido em conta anteriormente, esta última simulação já não foi submetida a um processo de ajustes muito rigoroso uma vez que, a partir deste ponto o modelo de comparação deixa de ser o balanço de 2005 passando os valores reais da instalação a servirem este propósito. Dito isto entra-se então na terceira e última fase da modelação que consiste na comparação do modelo com os valores reais e atuais da instalação.

4.3.3 Validação do modelo com os dados medidos na instalação (SKIPPER)

Depois de ter o modelo em concordância com a realidade em termos de dados disponíveis no que diz respeito ao dimensionamento dos equipamentos, resta apenas fazer com que os parâmetros termodinâmicos ao longo do ciclo coincidam com os valores medidos na instalação, para obter uma validação do próprio modelo. Para além disso, o modelo deve também encontrar-se em concordância com os valores medidos para qualquer regime de carga.

De uma forma geral, em cada centro produtor da EDP os parâmetros de processo são medidos e recolhidos/controlados num sistema de controlo distribuído (DCS); existe uma infraestrutura dotada de diversos servidores OSI locais para recolha da informação proveniente de diversas fontes, com um servidor central para consolidação de informação, que é disponibilizada aos utilizadores sob a forma de um portal web (Portal *Skipper*). No *Skipper* é possível consultar em tempo real, através de janelas esquemáticas, os valores de todas as medições e parâmetros de controlo associados ao funcionamento dos centros produtores. Nas Figuras 41 e 42 encontram-se representados dois dos “mímicos” relativos à vista geral e posto de água do grupo 1 da Central de Sines.

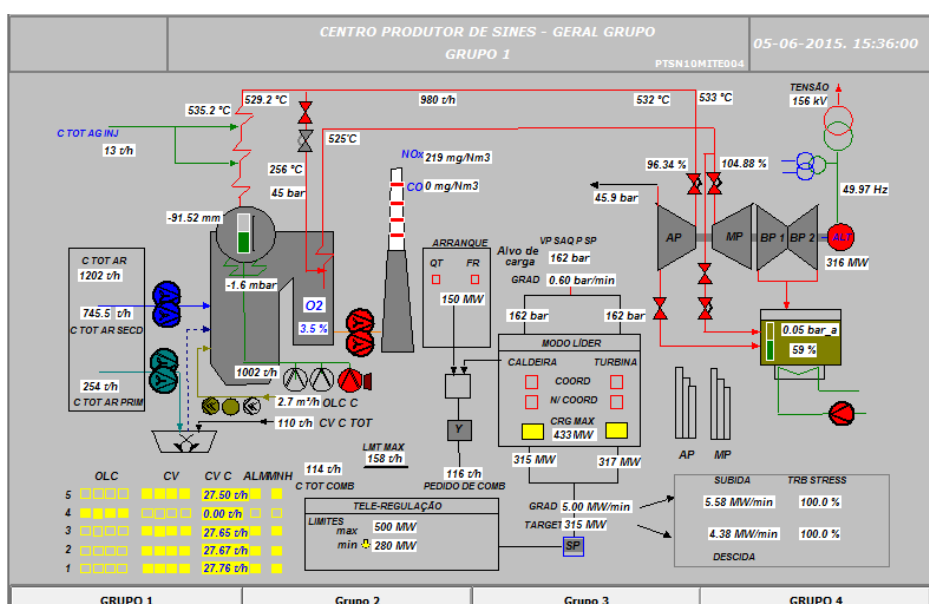


Figura 41 – Janela do *Skipper* com vista geral do grupo.

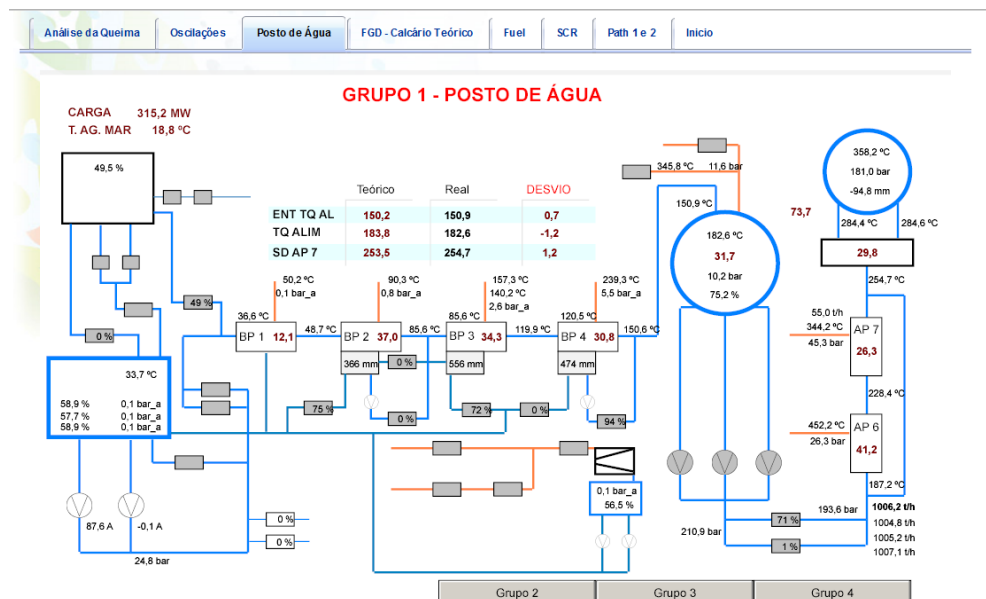


Figura 42 – Janela do *Skipper* posto de água do grupo 1 da central

De uma forma geral esta fase final da modelação dividiu-se nas seguintes tarefas:

1. Escolha de um período temporal de avaliação da central;
2. Levantamento da informação necessária do *Skipper*;
3. Comparação dos dados reais com os resultados do modelo e realização de ajustes no modelo.

4.3.3.1 Escolha de um período temporal de avaliação da central

A determinação do período temporal de funcionamento da central no qual se vão considerar os dados necessários para a comparação com o modelo é um ponto fundamental na sua validação, uma vez que é necessário garantir que todas as variáveis se encontram estabilizadas (ausência de transitórios). Assim, teve-se como objetivo a obtenção de um período de 1 hora que representasse as condições de funcionamento normal da central e com uma variação em relação ao valor médio inferior a ± 3 MW. Nesse sentido, recorrendo-se à visualização do histórico de valores do *Skipper*, iniciou-se um processo de filtragem temporal para o valor de potência produzida pelo grupo 1 da central começando por se visualizar um período de 15 dias anteriores ao dia da modelação. Esse histórico encontra-se representado na Figura 43, onde se podem observar períodos de descida e subida de carga, períodos estes que se pretendiam precisamente evitar.

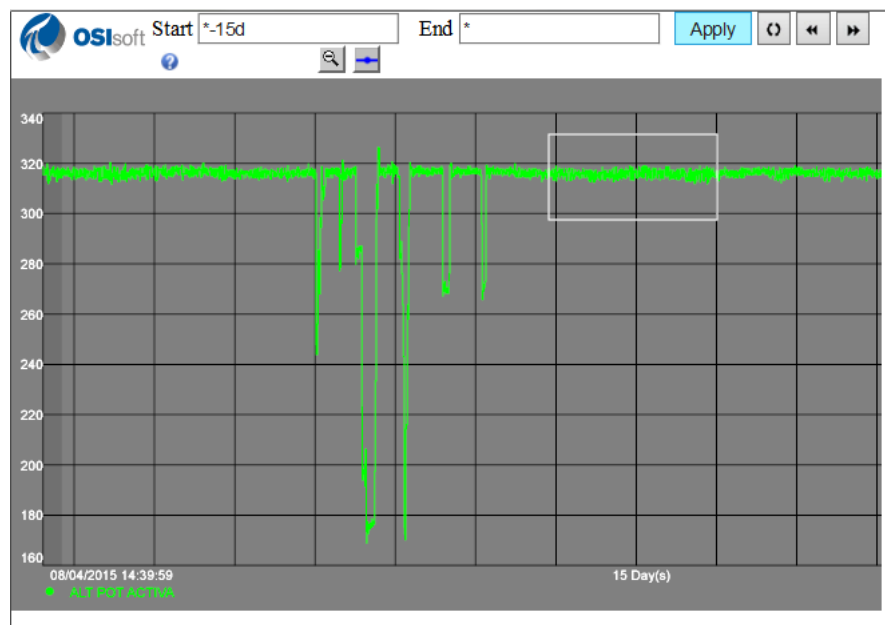


Figura 43 – Histórico da potência bruta de um grupo da central (8/04/15 – 23/04/15).

Do período temporal analisado seleccionaram-se 2 dias consecutivos, que aparentassem ter o valor de carga mais constante, passando agora para uma janela com o histórico desses dois dias, Figura 44.

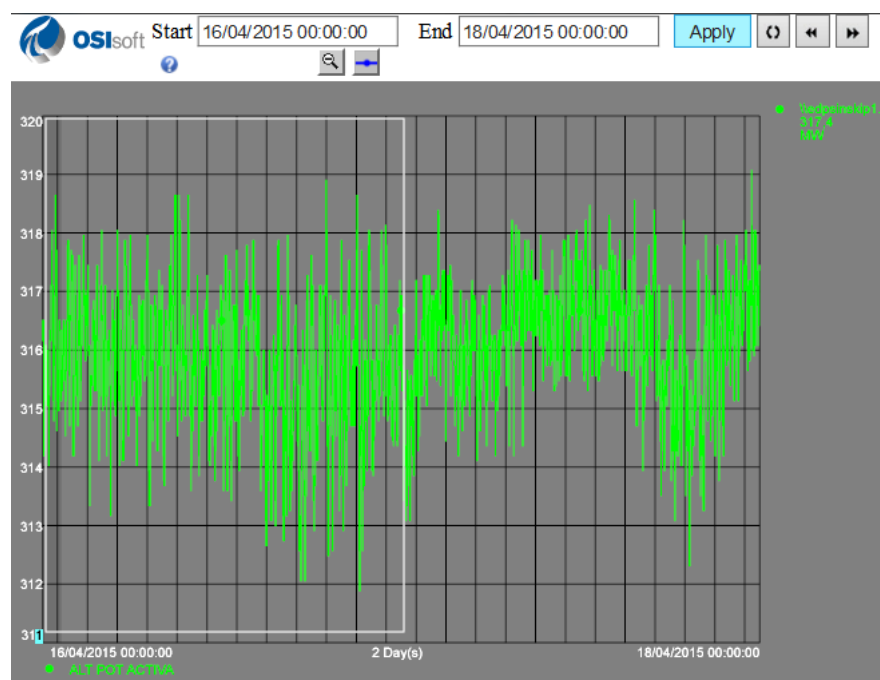


Figura 44 – Histórico da potência bruta de um grupo da central (16/04/15 – 18/04/15).

Seguiu-se o mesmo processo de filtragem temporal passando-se para 1 dia, 5 horas e finalmente 1 hora. Os respetivos gráficos encontram-se representados nas Figuras 87, 88 e 89 no Anexo B. O período selecionado está compreendido entre as 3h30 e as 4h30 do dia 16 de abril de 2015 e encontra-se representado no gráfico da Figura 45. Este gráfico foi construído a partir do *Microsoft Excel* de forma a obterem-se os valores de média, mínimo e máximo de potência para este período, respetivamente 316 MW, 314.1 MW e 317.6 MW, valores que respeitam a variação de potência imposta como máxima.

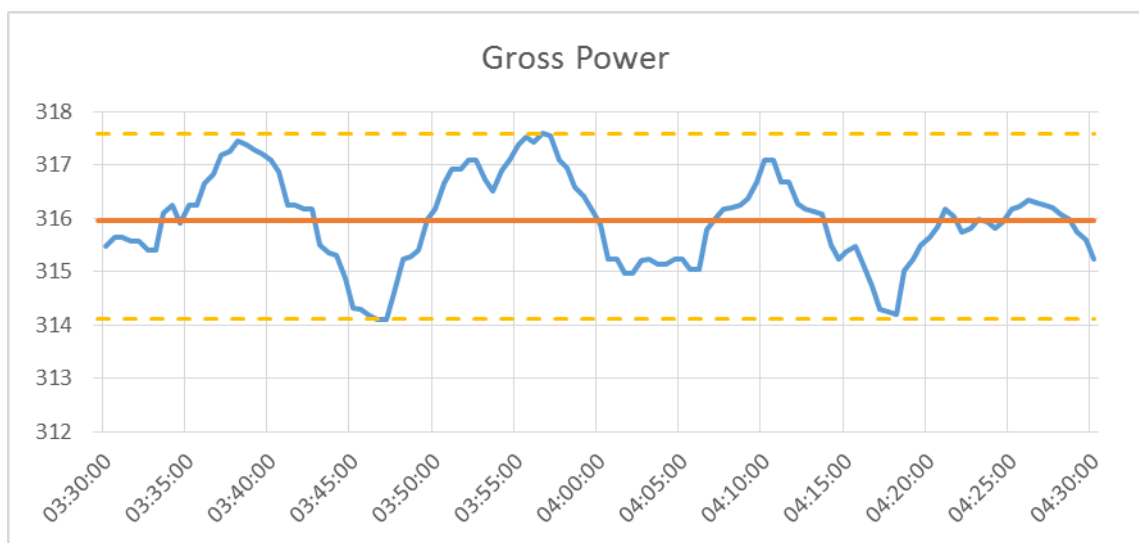


Figura 45 – Período de 1 hora selecionado (16/04/15 3:30:00 – 4:30:00).

O método de levantamento dos valores do Skipper através do Microsot Excel será explicado no ponto 4.3.3.2.

4.3.3.2 Levantamento da informação necessária do *skipper*

Depois de selecionado o período de funcionamento da central que se pretende comparar com o modelo é necessário levantar toda a informação necessária para o mesmo período temporal e calcular a média de valores das várias medições. Esse processo é passível de ser feito via *Microsoft Excel* utilizando a ferramenta *Datalink* que, provida de um motor de busca ligado aos servidores do *Skipper*, permite encontrar a variável pretendida. Cada variável do servidor encontra-se identificada com um nome de código (*Tag*) que segue a lógica de identificação dos sistemas da central. Depois de importado o nome de código para o *Excel*, a extensão reconhece-o e atribui uma coluna de valores da respetiva variável para o período temporal considerado e um intervalo de medições pretendido. Uma parte da ficha *Excel* criada para o efeito encontra-se representada na Figura 46, onde é possível observar o levantamento de valores das variáveis: potência, temperatura ambiente e temperatura da água do mar para um intervalo de medição de 10 segundos.

	A	B	C	D	E	F	G
1		SINES			Gross Power	Temperatura Ambiente	Temp Agua Mar
2		1			Média	Média	Média
3					316.0	14.6	16.9
4		Tempo inicial					
5		Tempo final			10	10	10
6		DT			BAA20CE300/XJ01	BAT10CU0010/XJ01	PAB30CT001/XJ01
7				TAG	10BAA20CE300/XJ01	10BAT10CU0010/XJ01	10PAB30CT001/XJ01
8		Nº de medições		DESCRIÇÃO	ALT POT ACTIVA	ANL OL TRF PP T AMB	DISTR AG REF T
9		363		UNIDADES	MW	°C	°C
10				16-abr-15 03:30:00	315.48	19.10	16.81
11				16-abr-15 03:30:10	315.48	19.10	16.81
12	x			16-abr-15 03:30:20	315.48	19.10	16.81
13				16-abr-15 03:30:30	315.63	19.10	16.81
14				16-abr-15 03:30:40	315.65	19.10	16.81
15				16-abr-15 03:30:50	315.65	19.10	16.81
16				16-abr-15 03:31:00	315.65	19.10	16.81

Figura 46 – Janela *Excel* para o levantamento de informação do *Skipper*.

Depois de recolhido todo o conjunto de mais de 80 variáveis que serviriam de termo de comparação com o modelo, fez-se uma representação gráfica das mesmas, de forma a facilitar a sua leitura. Essa representação encontra-se apresentada na Figura 47.

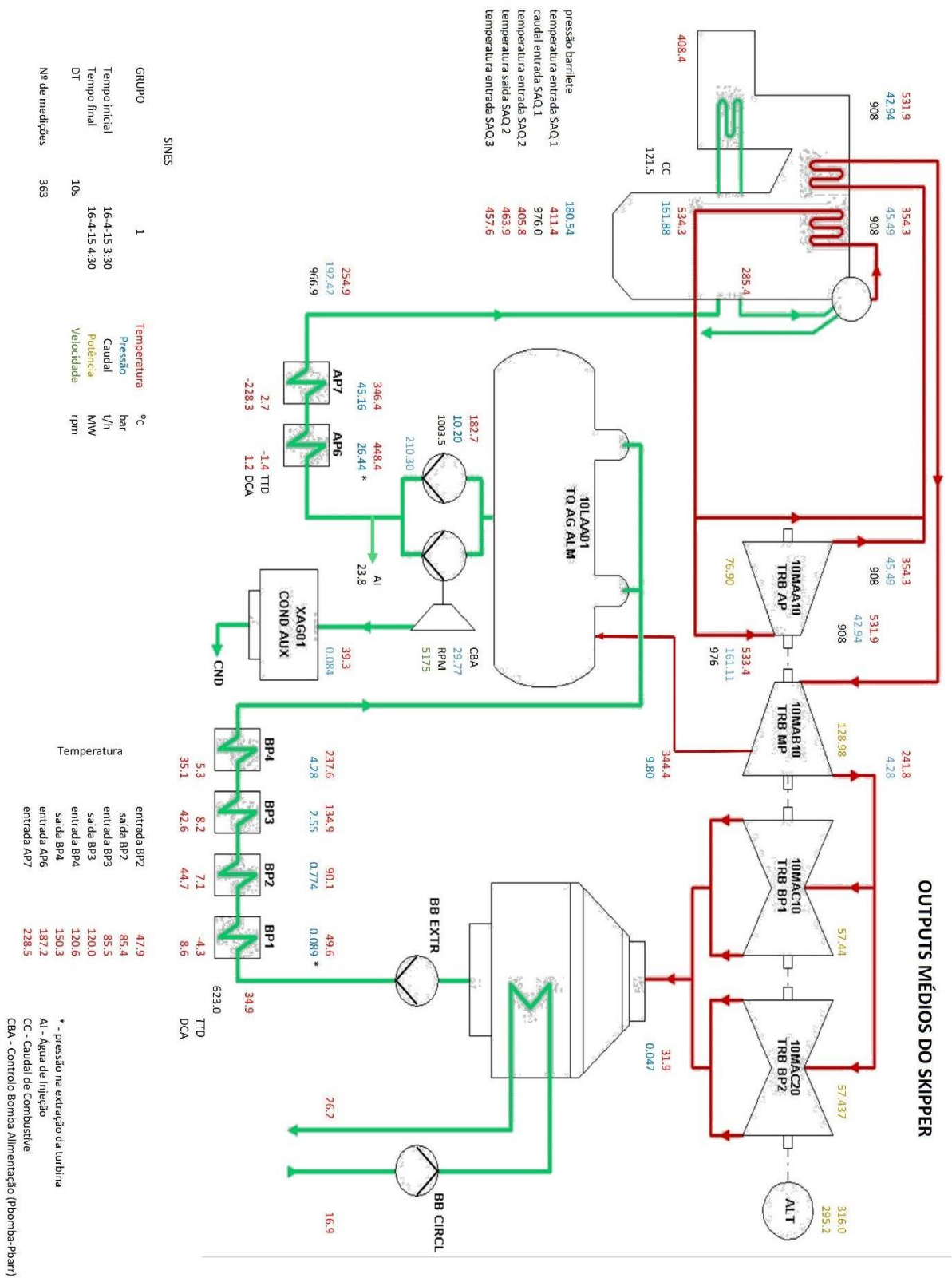


Figura 47 – Representação gráfica dos valores retirados do Skipper (16/04/15).

4.3.3.3 Comparação dos dados medidos com os resultados do modelo e realização de ajustes

Depois de obtido o conjunto dos dados medidos da central e de introduzidos no modelo todos os parâmetros físicos e de controlo dos equipamentos, procedeu-se à comparação dos resultados da simulação do modelo com os dados do *Skipper*, tendo sido realizadas as afinações necessárias posteriormente, de forma a minimizar o desvio entre resultados calculados pelo programa e dados existentes do *Skipper*. Este processo obrigou a reavaliar todo o conjunto da caldeira e respetivos componentes e suas transferências de calor. É de referir que foi necessário encontrar um compromisso para atingir este objetivo, considerando que a fiabilidade dos valores apresentados no *Skipper* não é absoluta (i.e. erros de medida dos sensores). Desta forma foi possível chegar-se a um modelo cujos resultados se aproximam de forma satisfatória do comportamento real da central.

Na Figura 49, apresenta-se um esquema geral da central com os resultados gerais da última corrida obtida no *Steam Master*, sendo que um esquema mais detalhado da caldeira é apresentado na Figura 48.

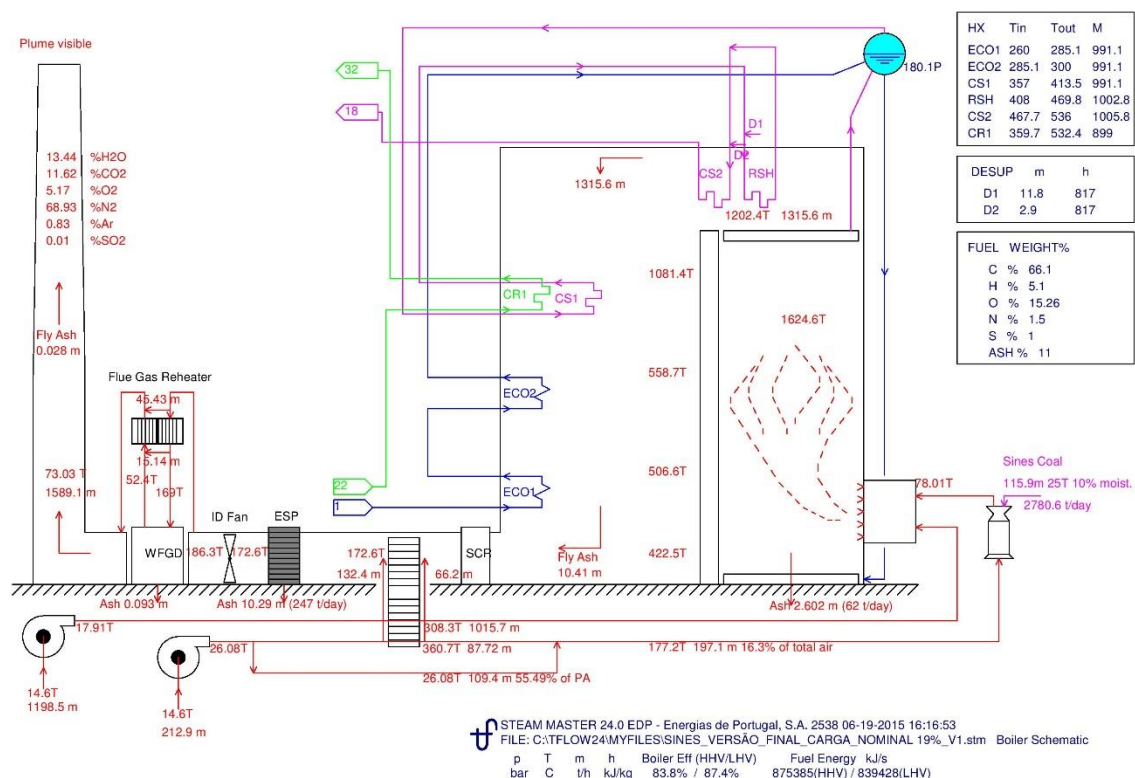


Figura 48 – Representação gráfica dos resultados da caldeira da simulação para carga nominal - *Steam Master*.

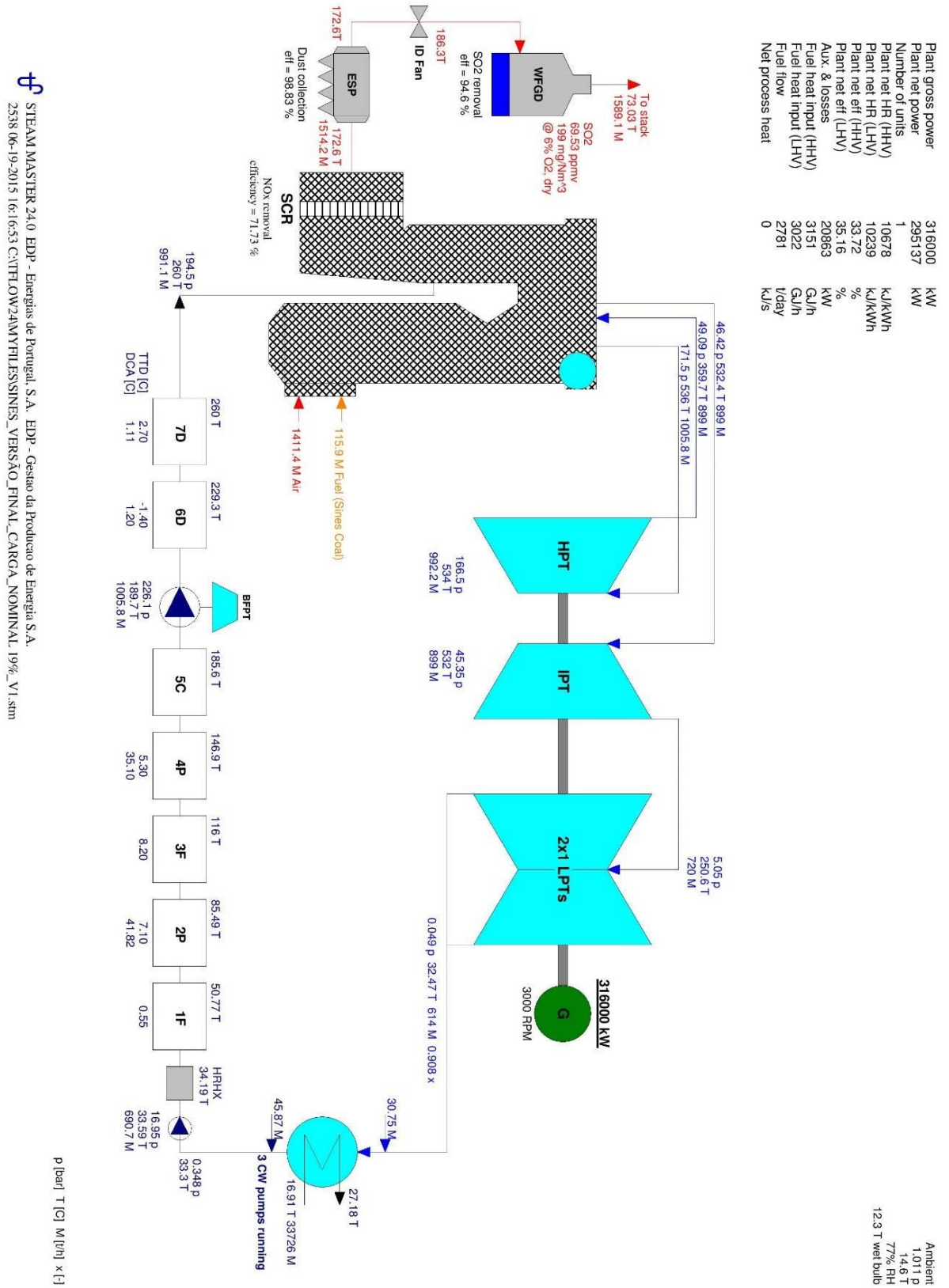


Figura 49 – Representação gráfica geral dos resultados da simulação para carga nominal – *Steam Master*.

De forma a facilitar a comparação dos dados obtidos no modelo com os dados obtidos no Skipper, estes encontram-se resumidos nas Tabelas 6,7 e 8 abaixo.

Tabela 6 - Comparação dos resultados obtidos no *Steam Master* para a carga nominal com os do *Skipper* (geral).

	Steam Master	Skipper		Erro [%]
Potência bruta	316000	316000	[kW]	
Potência líquida	295137	295200	[kW]	-0,02%
Caudal de combustível consumido	115,9	121,5	[t/h]	-4,61%
Temperatura dos gases à saída da caldeira	422,5	408,4	[°C]	3,45%
Caudal de ar total	1411,4	1182,0	[t/h]	19,4%
Rendimento da caldeira (PCS)	83,8	81,3	[%]	3,08%
Rendimento global líquido do ciclo (PCS)	33,7	32,9	[%]	2,43%

Tabela 7 - Comparação dos resultados obtidos no *Steam Master* para carga nominal com os do *Skipper* (turbina e permutadores).

	Steam Master	Skipper		Erro [%]
Caudal entrada turbina alta pressão	992	976	[t/h]	1,64%
Caudal entrada turbina média pressão	899	908	[t/h]	-0,99%
Caudal entrada turbina baixa pressão	720	N/D	[t/h]	-
Caudal saída turbina baixa pressão	614	N/D	[t/h]	-
Temperatura saída turbina baixa pressão	32,5	31,9	[°C]	1,88%
Temperatura água entrada BP1	34,2	34,9	[°C]	-2,01%
Caudal água entrada BP1	691	623	[t/h]	10,91%
Temperatura água saída AP7	260,0	254,9	[°C]	2,00%
Caudal água saída AP7	991	967	[t/h]	2,48%
Caudal de água de injeção	14,7	23,8	[t/h]	-38,24%
Pressão vapor entrada BP1	0,131	0,089 ³	[bar]	47,19%
Pressão vapor entrada BP2	0,773	0,774 ³	[bar]	-0,13%
Pressão vapor entrada BP3	2,266	2,55 ³	[bar]	-11,14%
Pressão vapor entrada BP4	5,05	4,28 ³	[bar]	17,99%
Pressão vapor entrada Tanque Alimentação	11,39	9,80 ³	[bar]	16,22%
Pressão vapor entrada AP6	26,94	26,47 ³	[bar]	1,78%
Pressão vapor entrada AP7	49,07	45,16 ³	[bar]	8,66%

³ Valores medidos na extração da turbina

Tabela 8 - Comparação dos resultados obtidos no *Steam Master* para carga nominal com os do *Skipper* (caldeira).

		Steam Master	Skipper		Erro [%]
Economizador inferior	Temperatura entrada água	260,0	254,9	[°C]	2,00%
	Temperatura saída água	285,1	282,2 ⁴	[°C]	1,03%
	Temperatura entrada gases	506,6	477 ⁴	[°C]	6,21%
	Temperatura saída gases	422,5	408,4 ⁴	[°C]	3,45%
Economizador superior	Temperatura entrada água	285,1	282,2 ⁴	[°C]	1,03%
	Temperatura saída água	300	295,3 ⁴	[°C]	1,59%
	Temperatura entrada gases	558,7	558,0 ⁴	[°C]	0,13%
	Temperatura saída gases	506,6	N/D	[°C]	-
Sobreaquecedor primário	Temperatura entrada vapor	357	375,9 ⁴	[°C]	-5,03%
	Temperatura saída vapor	413,5	415,5 ⁴	[°C]	-0,48%
	Temperatura entrada gases	1081	964 ⁴	[°C]	12,14%
	Temperatura saída gases	567,6	N/D	[°C]	-
Reaquecedor	Temperatura entrada vapor	359,7	347 ⁴	[°C]	3,66%
	Temperatura saída vapor	532,4	526,9 ⁴	[°C]	1,04%
	Temperatura entrada gases	1081	941 ⁴	[°C]	14,88%
	Temperatura saída gases	547,6	583 ⁴	[°C]	-6,07%
Sobreaquecedor final	Temperatura entrada vapor	467,7	451,8 ⁴	[°C]	3,52%
	Temperatura saída vapor	536,0	527,7 ⁴	[°C]	1,57%
	Temperatura entrada gases	1202	1274 ⁴	[°C]	-5,65%
	Temperatura saída gases	1081	1148 ⁴	[°C]	-5,84%
Sobreaquecedor radiante	Temperatura entrada vapor	408	394,8 ⁴	[°C]	3,34%
	Temperatura saída vapor	469,8	451,8 ⁴	[°C]	3,98%
	Temperatura entrada gases	1642 ⁵	N/D	[°C]	-
	Temperatura saída gases (saída da fornalha)	1202	N/D	[°C]	-

⁴ Uma vez que não se encontram disponíveis no *Skipper* os dados relativos às temperaturas dos gases, quer estes valores quer os relativos às temperaturas da água/vapor foram retirados do relatório de 2005 da Figura 82 em Anexo B.

⁵ Considerada a temperatura média radiante da fornalha

O mesmo processo de levantamento de informação, simulação no modelo e comparação de resultados, foi realizado para um outro ponto de funcionamento da central. Escolheu-se o mínimo técnico, pela sua importância em termos operacionais e pelo facto que desta forma seria possível testar os resultados do modelo no ponto de funcionamento mais afastado da carga nominal. De salientar que para este regime foram levantados do *Skipper* dois períodos de uma hora de funcionamento distintos (17/05/2015 e 16/11/2014), de forma a demonstrar a eventual invalidade de algumas variáveis do primeiro período. Os resultados do modelo para este regime estão apresentados da mesma forma gráfica que anteriormente, estando um esquema mais detalhado da caldeira representado na Figura 50 e um esquema geral do ciclo representado na Figura 51. Os diagramas representativos dos dados extraídos do *Skipper* encontram-se nas Figuras 90 e 91 presentes no Anexo B, respetivamente para o dia 17/05/2015 e para o dia 16/11/2015. As Tabelas 9, 10 e 11, à semelhança das tabelas anteriores representam de uma forma resumida os resultados quer da simulação do modelo quer do *Skipper* para os dois períodos seleccionados.

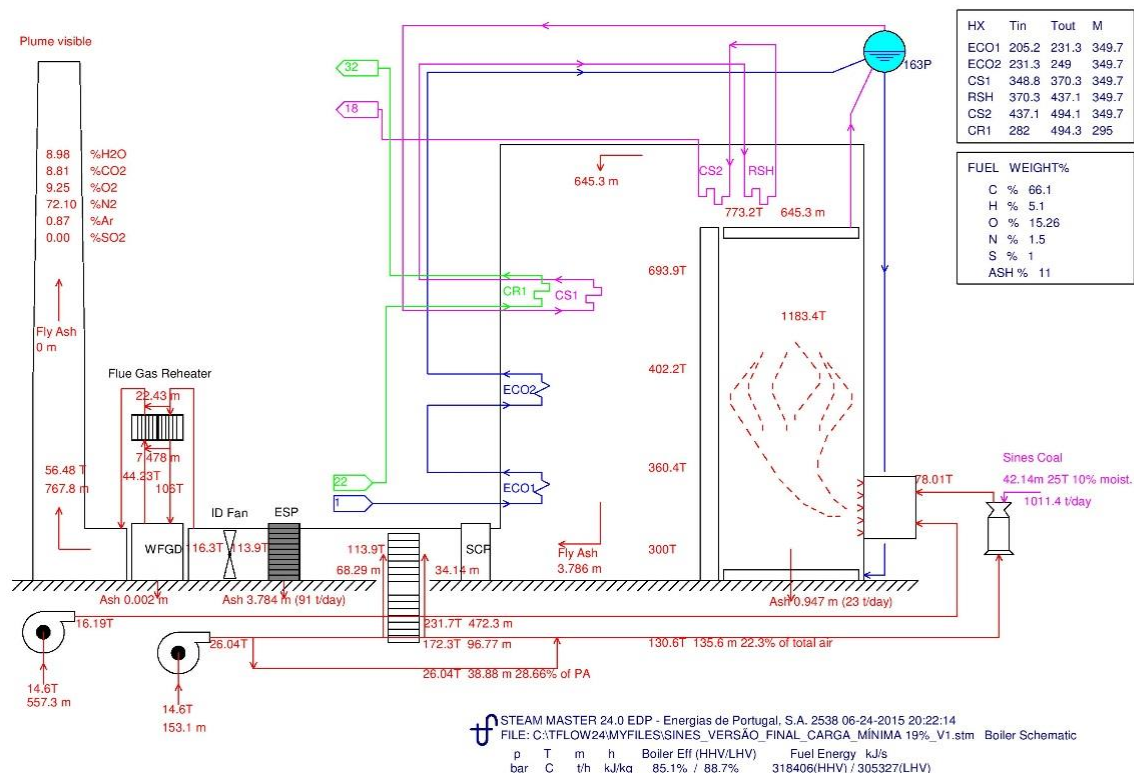


Figura 50 – Representação gráfica dos resultados da caldeira da simulação para carga mínima - *Steam Master*.

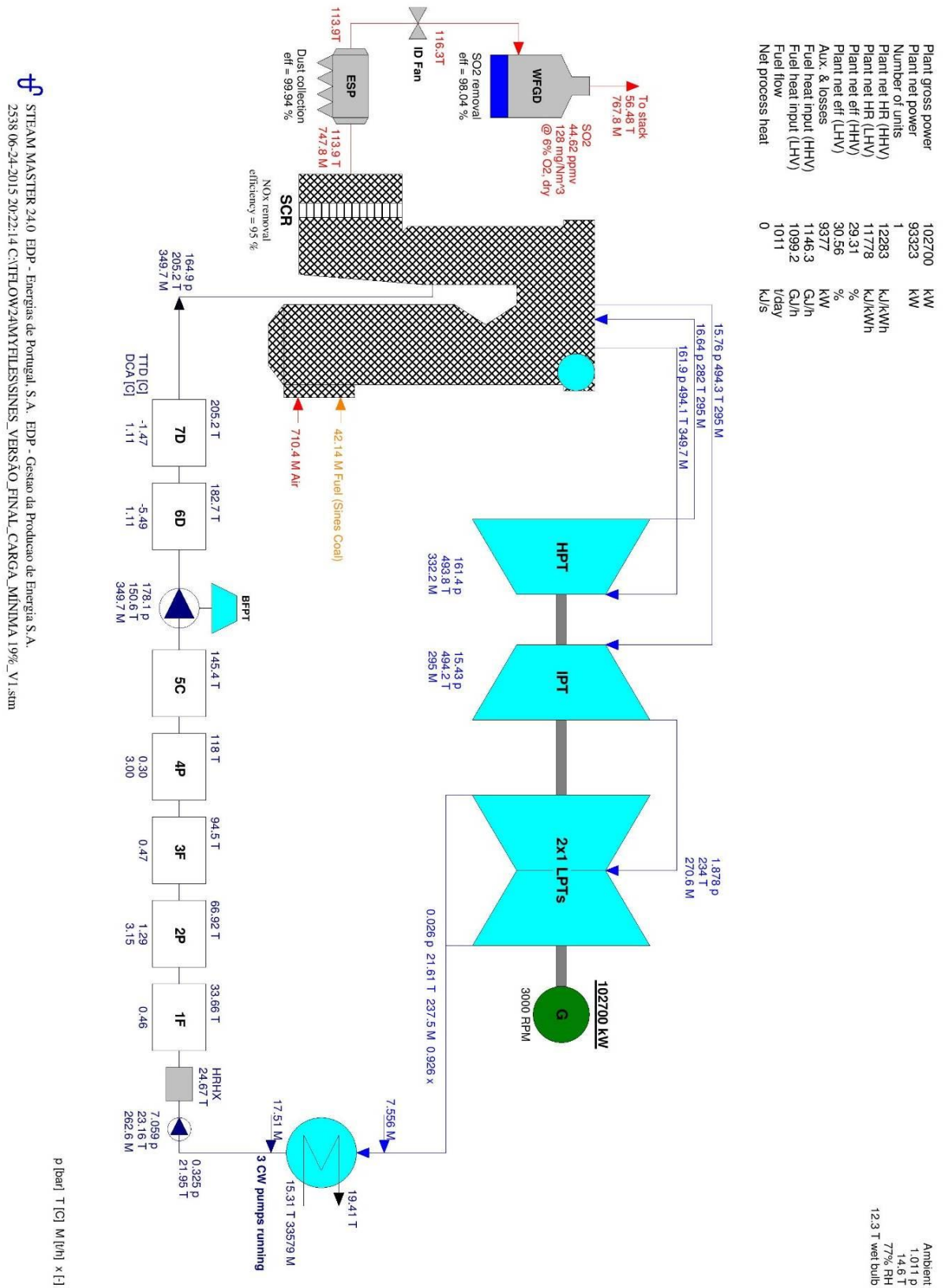


Figura 51 – Representação gráfica geral dos resultados da simulação para carga mínima – *Steam master*.

Tabela 9 - Comparação dos resultados obtidos no *Steam Master* para a carga mínima com os do *Skipper* (geral).

	Steam Master	Skipper (17-05-15/16-11-14)		Erro (relativo a 17-05-15) [%]
Potência bruta	102700	102700/102500	[kW]	-
Potência líquida	93323	90200/90000	[kW]	3,46%
Caudal de combustível consumido	42,14	44,3/47,5	[t/h]	-4,88%
Temperatura dos gases à saída da caldeira	300	324,5/319,8	[°C]	-7,55%
Caudal de ar total	710,3	708,7/656,1	[t/h]	0,23%
Rendimento da caldeira (PCS)	85,1	84,8/76,3	[%]	0,35%
Rendimento global líquido do ciclo (PCS)	29,3	33,4/25,1	[%]	-12,28%

Tabela 10 - Comparação dos resultados obtidos no *Steam Master* para carga mínima com os do *Skipper* (turbina e permutadores).

	Steam Master	Skipper (17-05-15/16-11-14)		Erro (relativo a 17-05-15) [%]
Caudal entrada turbina alta pressão	332	324/310	[t/h]	2,47%
Caudal entrada turbina média pressão	295	318/305	[t/h]	-7,23%
Caudal entrada turbina baixa pressão	271	N/D	[t/h]	-
Caudal saída turbina baixa pressão	238	N/D	[t/h]	-
Temperatura saída turbina baixa pressão	21,6	25,4/34,4	[°C]	-14,96%
Temperatura água entrada BP1	24,7	31,8/40,7	[°C]	-22,33%
Caudal água entrada BP1	263	N/D	[t/h]	-
Temperatura água saída AP7	205,2	196,8/196,1	[°C]	4,27%
Caudal água saída AP7	350	338/305	[t/h]	3,55%
Caudal de água de injeção	0	9,6/35,2	[t/h]	-
Pressão vapor BP1	0,054	0,063 ⁶ /0,065 ⁶	[bar]	-14,29%
Pressão vapor BP	0,288	0,375 ⁶ /0,381 ⁶	[bar]	-23,20%
Pressão vapor BP3	0,844	1,10 ⁶ /1,15 ⁶	[bar]	-23,27%
Pressão vapor BP4	1,878	N/D ⁶ /0,98 ⁶	[bar]	-
Pressão vapor Tanque Alimentação	4,202	4,79 ⁶ /4,79 ⁶	[bar]	-12,28%
Pressão vapor AP6	9,394	8,62 ⁶ /8,88 ⁶	[bar]	8,98%
Pressão vapor AP7	16,80	14,22*/13,97*	[bar]	18,14%

⁶ Valores medidos na extração da turbina

Tabela 11 - Comparação dos resultados obtidos no *Steam Master* para carga nominal com os do *Skipper* (caldeira).

		Steam Master	Skipper⁷ (17-05-15/16-11-14)		Erro (relativo a 17-05-15) [%]
Economizador inferior	Temperatura entrada água	205,2	196,8/196,1	[°C]	4,27%
	Temperatura saída água	231,3	N/D	[°C]	-
	Temperatura entrada gases	360,4	N/D	[°C]	-
	Temperatura saída gases	300	N/D	[°C]	-
Economizador superior	Temperatura entrada água	231,3	N/D	[°C]	-
	Temperatura saída água	249	247,2/252,4	[°C]	0,73%
	Temperatura entrada gases	402,2	N/D	[°C]	-
	Temperatura saída gases	360,4	N/D	[°C]	-
Sobreaquecedor primário	Temperatura entrada vapor	348,8	N/D	[°C]	-
	Temperatura saída vapor	370,3	423,9/451,0	[°C]	-12,64%
	Temperatura entrada gases	693,9	N/D	[°C]	-
	Temperatura saída gases	387,9	N/D	[°C]	-
Reaquecedor	Temperatura entrada vapor	282	286,0/298,9	[°C]	-1,40%
	Temperatura saída vapor	494,3	494,1/493,4	[°C]	0,04%
	Temperatura entrada gases	693,9	N/D	[°C]	-
	Temperatura saída gases	409,1	N/D	[°C]	-
Sobreaquecedor final	Temperatura entrada vapor	437,1	469,4/452,6	[°C]	-6,88%
	Temperatura saída vapor	494,1	528,9/533,1	[°C]	-6,58%
	Temperatura entrada gases	773,2	N/D	[°C]	-
	Temperatura saída gases	693,9	N/D	[°C]	-
Sobreaquecedor radiante	Temperatura entrada vapor	370,3	414,8/389,6	[°C]	-10,73%
	Temperatura saída vapor	437,1	470,7/464,2	[°C]	-7,14%
	Temperatura entrada gases	1183 ⁸	N/D	[°C]	-
	Temperatura saída gases (saída da fornalha)	773,2	N/D	[°C]	-

⁷ Uma vez que não se encontram disponíveis os dados relativos às temperaturas dos gases nem no Skipper nem no relatório de 2005 da Figura 82 em Anexo B, apenas foram usados nesta comparação os valores disponíveis no Skipper para as temperaturas da água/vapor

⁸ Considerada a temperatura média radiante da fornalha

Os dados obtidos descritos nas tabelas, permitem a verificação do grau de aproximação dos resultados obtidos do modelo aos valores retirados do *Skipper* para os dois regimes de carga distintos. Apesar de haver alguma discrepância em alguns dos valores, principalmente a nível da caldeira e especialmente no regime de carga mínima técnica, de uma forma geral estas podem ser justificadas por: grande complexidade que a instalação apresenta e consequente não abrangimento de todos os equipamentos e sistemas existentes no modelo, ambiguidade na introdução de alguns parâmetros construtivos (nomeadamente na área de permuta do economizador), invalidade ou indisponibilidade da informação levantada no *Skipper*, necessidade de afinações mais detalhadas ao modelo especialmente a nível do controlo de funcionamento dos equipamentos.

Um estudo mais aprofundado sobre os permutadores da caldeira (principalmente do economizador) que inclua a verificação das áreas de permuta dos mesmos, permitiria a eliminação das ambiguidades existentes e por consequência, resultados ainda mais aproximados. Da mesma forma, o alargamento do número de regimes a simular para cargas intermédias, com o intuito de tornar o modelo mais flexível, e a obtenção de mais do que um período de uma hora por cada regime a ser comparado, de forma a homogeneizar a informação retirada do *Skipper* que não apresenta valores típicos do funcionamento normal da central, constituem mais duas possíveis medidas de melhoramento do modelo construído. Finalmente, um estudo mais aprofundado dos métodos de cálculo de algumas variáveis do programa (recorrendo essencialmente à secção de ajuda do programa) de forma a conseguir-se prever melhor a sua resposta às alterações impostas seria bastante vantajoso na medida em que prepararia melhor o utilizador para a realização das afinações mais complexas do modelo. No entanto, este é um fator que depende essencialmente da experiência de modelação e por consequência da quantidade de tempo de utilização do programa de simulação.

5 Análise Exergética do Ciclo Térmico

Em paralelo com a construção do modelo, foi realizada uma análise exergética aplicada ao ciclo termodinâmico da central em estudo. Esta análise permite não só obter uma ideia da quantidade de energia útil que é dissipada ao longo do ciclo como também identificar os componentes que mais contribuem para o seu aumento. Além disso, este exercício constituiu um excelente exemplo de aplicação do modelo construído, uma vez que a obtenção dos dados necessários para esta análise via *Skipper* seria demasiado demorada e a informação disponível provavelmente limitada. Ao longo deste capítulo procura-se fazer uma breve contextualização teórica do estudo, uma descrição analítica dos resultados obtidos para os quatro subsistemas do ciclo: turbinas, permutadores, caldeira e sistemas auxiliares, e finalmente fazer a comparação dos resultados obtidos com os calculados a partir da literatura (Kotas, 1985, Pinho 2015).

5.1 Exergia

Os métodos tradicionais de análise energética de ciclos térmicos, baseados na 1ª Lei da Termodinâmica, são capazes de quantificar as transferências de calor e trabalho que ocorrem num determinado processo térmico. No entanto, este balanço energético, não fornece informações sobre a disponibilidade de energia ou sobre as perdas internas que ocorrem no processo. Acrescentando a 2ª Lei da Termodinâmica à análise, cria-se a base teórica necessária para introduzir um conceito, largamente utilizado na análise e otimização de ciclos térmicos, a exergia.

Como nos programas utilizados na presente modelação os balanços energéticos são assumidos e efetuados por defeito, optou-se por não fazer qualquer referência teórica ao tema. Contudo, já as análises exergéticas foram efetuadas externamente e em complemento aos programas e módulos usados e em consequência faz-se um pequeno levantamento teórico sobre o tema.

De acordo com Rudra *et al.* (2008), a exergia consiste na quantidade de trabalho máximo que pode ser obtido num processo termodinâmico em regime permanente, desde o seu estado inicial até ao ponto de equilíbrio com um estado de referência, o ambiente. A exergia conserva-se em processos ditos ideais e degrada-se em processos reais, sendo a quantidade de exergia degradada denominada de irreversibilidade. A irreversibilidade constitui desta forma, um indicador geral da ineficiência de uma evolução termodinâmica. Pode-se considerar o balanço exergético de um volume de controlo funcionando em regime permanente, como sendo a igualdade entre o somatório das potências exergéticas que entram no sistema, $\Sigma \dot{E}_e$, e o somatório das potências exergéticas que saem do sistema $\Sigma \dot{E}_s$ acrescido do valor de irreversibilidade do processo, \dot{I} (5.1.1).

$$\Sigma \dot{E}_e = \Sigma \dot{E}_s + \dot{I} \quad (5.1.1)$$

A irreversibilidade pode então ser vista como a quantidade de energia não aproveitada num processo térmico. Na equação anterior podem-se discriminar algumas das parcelas referentes às exergias transferidas. Assim, havendo no processo em análise trocas de energia sob a forma de calor e trabalho, as respetivas trocas exergéticas virão destacadas, equação (5.1.2).

$$\dot{I} = \Sigma \dot{E}_e - \Sigma \dot{E}_s + \Sigma \dot{Q} \left(\frac{T - T_o}{T} \right) - \dot{W} \quad (5.1.2)$$

Nesta equação destaca-se a parte referente às trocas térmicas entre o volume de controlo e as fontes térmicas com as quais este interatua, assim como o trabalho (de facto, potência trabalho) trocado entre o volume de controlo e o seu exterior. Por isso, agora, os somatórios referentes às potências exergéticas contabilizam outras trocas exergéticas que não as já discriminadas.

Demonstra-se que a irreversibilidade pode ainda ser vista como o produto da temperatura do estado de referência, o ambiente, e a variação líquida de entropia do universo associada ao processo. Esta relação é conhecida como a relação de Guoy-Stodola,

$$\dot{I} = T_a (\dot{S}_e - \dot{S}_s) \quad (5.1.3)$$

Da mesma forma que existem diferentes tipos de energia, a exergia pode também ser dividida em vários componentes. A exergia cinética e potencial, e física e química são os principais componentes da exergia considerados (Kotas, 1985). Como no presente trabalho se analisam volumes de controlo a operar em regime permanente, apenas serão consideradas a exergia física ou coentalpia e a exergia química referente ao processo de combustão.

A exergia física de uma corrente de matéria, ou coentalpia, é uma propriedade termodinâmica extrínseca que define o valor máximo de trabalho que pode ser obtido quando a corrente é trazida do seu estado inicial até ao estado de equilíbrio mecânico e térmico com o ambiente, segundo processos físicos em que há unicamente interação térmica com o ambiente (Pinho, 2015).

Assim quantifica-se a exergia física como,

$$\dot{E}^f = (\dot{H} - \dot{H}_a) - T_a(\dot{S} - \dot{S}_a) \quad (5.1.4)$$

onde \dot{H} é a potência entálpica da corrente no estado inicial, \dot{H}_a a potência entálpica no estado de referência, \dot{S} a potência entrópica inicial da corrente e \dot{S}_a a potência entrópica da corrente no estado de referência.

A exergia química de uma corrente, \dot{E}^q , pode ser definida como o máximo trabalho útil que pode ser obtido, trazendo-a do seu estado inicial para um equilíbrio químico com o estado de referência segundo processos que envolvam apenas trocas de calor e de massa com esse mesmo estado. Por outras palavras, pode-se chamar exergia química de uma substância ao trabalho mínimo necessário para sintetizar e fornecer às condições do estado ambiente a substância em causa, a partir de substâncias que compõem o ambiente, recorrendo-se a processos que envolvam apenas transferências de calor e massa com o ambiente. A exergia química dos combustíveis pode ser determinada através de uma expressão empírico-heurística em função da composição elementar e do poder calorífico de cada componente do combustível. Para efeito de cálculo, no presente trabalho, utilizou-se a correlação desenvolvida por Szargut e Styrylska para caracterização dos combustíveis sólidos: carvão, coques e hidrocarbonetos, mais especificamente, combustíveis que tenham na sua constituição o elemento enxofre e que respeitem a condição, $\frac{Y_{O_2}}{Y_C} < 0,666$, (Pinho, 2015).

Tem-se então,

$$\beta_1 = 1,0438 + 0,0013 \frac{Y_{H_2}}{Y_C} + 0,01083 \frac{Y_{O_2}}{Y_C} + 0,0549 \frac{Y_{N_2}}{Y_C} \quad (5.1.5)$$

e,

$$\varepsilon_o = (PCI_p)_s \beta_1 + 6,704 Y_s \quad (5.1.6)$$

Onde Y_i representa a fração mássica do constituinte i do combustível e ε_o a sua exergia química específica.

A aplicação desta equação, assim como a caracterização do combustível será adiantada mais à frente, aquando da descrição do método de análise exergética na caldeira.

De forma a terminar a apresentação do conteúdo teórico necessário para a elaboração da análise em questão, falta apenas apresentar o conceito de rendimento exergético. O rendimento exergético, segundo a sua definição fundamental, é a razão entre a potência exergética à saída de um volume de controlo e a potência exergética fornecida ao volume de controlo, ou seja,

$$\eta_{ex}^f = \frac{\Sigma |\dot{E}_s|}{\Sigma |\dot{E}_e|} \quad (5.1.7)$$

Ou, atendendo à equação,

$$\eta_{ex}^f = 1 - \frac{\dot{i}}{\Sigma |\dot{E}_e|} \quad (5.1.8)$$

No entanto muitos autores contestam a viabilidade prática desta definição mais fundamental e por oposição propõem o conceito do rendimento exergético racional, como sendo uma razão de exergias a definir casuisticamente conforme as situações concretas em análise (Kotas, 1985, Pinho 2015). No caso presente da central térmica, que tem como finalidade a produção de uma potência elétrica à custa da queima de um combustível, o rendimento exergético seria então definido como,

$$\eta_{ex}^r = \frac{\dot{W}_e}{\dot{m}_{comb} \times \varphi \times PCI_{comb}} \quad (5.1.9)$$

onde \dot{W}_e corresponde à potência elétrica líquida produzido no ciclo, \dot{m}_{comb} o caudal de combustível introduzido e PCI_{comb} o poder calorífico do combustível, valor indicado abaixo neste capítulo. O parâmetro φ corresponde ao rácio entre a exergia química específica e o poder calorífico para o combustível seco,

$$\varphi = \frac{\varepsilon_o}{(PCI)_s} \quad (5.1.10)$$

No presente trabalho considera-se o combustível de trabalho seco, pelo que,

$$(PCI)_s = PCI_{comb} \quad (5.1.11)$$

5.2 Análise exergética

Antes de seguir para a descrição dos cálculos efetuados nos diferentes subsistemas do ciclo, é importante salientar que o presente estudo foi realizado tendo por base os resultados obtidos nas simulações do modelo construído. Por motivos de disponibilidade temporal, esta análise teve que ser realizada em paralelo com a construção do modelo, pelo que os valores importados e utilizados nos cálculos efetuados não tiveram todos origem num único ficheiro. Os valores utilizados para a análise das turbinas e dos permutadores de calor são provenientes da última versão do modelo realizada no *Steam Pro* em abril de 2015 e os da caldeira e sistemas auxiliares uma versão do *Steam Master* de maio de 2015. Esta abordagem traz erros ao resultado da análise, que são expectáveis, e que se terá o cuidado de assinalar.

5.2.1 Ambiente

Conforme já foi referido, o estado de referência adotado para implementação da 2ª Lei da Termodinâmica ao ciclo em estudo foi o ambiente às condições médias do local da central, ou seja, 15 °C e 1 atm.

5.2.2 Turbinas

O primeiro subsistema, ou secção do ciclo, a ser estudada foi a secção das turbinas, caracterizada, conforme visto anteriormente, pelos andares (ou grupos conforme denominado pelo programa) de expansão demonstrados na Figura 52. A turbina de alta pressão (HPT) contém um conjunto de válvulas de regulação de caudal, e dois andares de expansão, sendo o primeiro um andar virtual para efeito de cálculo de perdas de carga na admissão da turbina. A turbina de média pressão (MPT) é composta por uma válvula de admissão e 3 andares de expansão (grupo 3 a 5) e as duas turbinas de baixa (LPT) são constituídas por 4 andares de expansão (grupo 6 a 9).

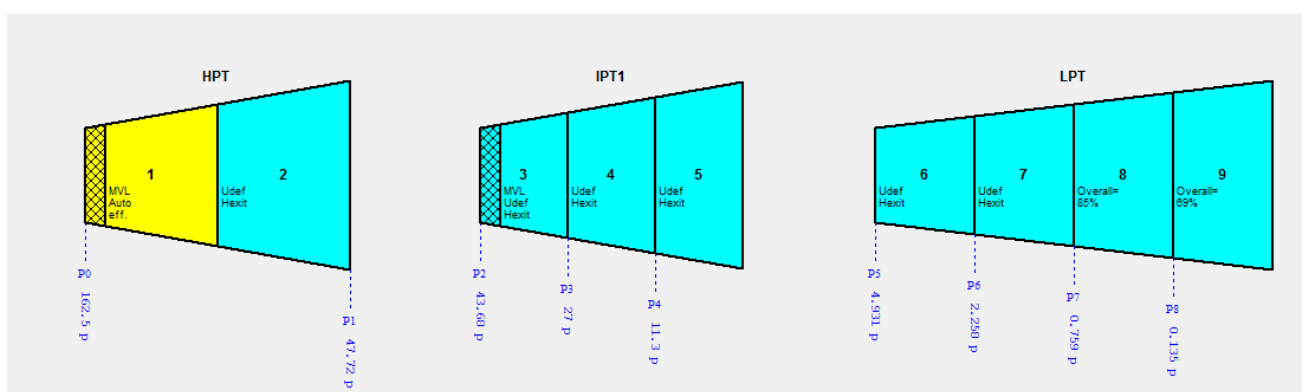


Figura 52 – Caracterização dos andares de expansão das turbinas segundo o programa.

As propriedades dos pontos necessários para os cálculos a efetuar foram importados do *Thermoflow* para o *Microsoft Excel* através de uma extensão disponibilizada pelo programa (*ELINK*) e dispostos sobre a forma de tabela conforme apresentado na Tabela 19 do Anexo C.

Uma vez que se trata de uma corrente térmica de expansão não envolvendo processos de transformação de natureza química, a única componente de exergia presente neste sistema é a exergia física ou coentalpia.

Utilizando os valores da Tabela 19 e recorrendo à equação,

$$k = (h - h_a) - T_a(s - s_a) \quad (5.2.1)$$

Foram calculados os valores de coentalpia à entrada e saída de cada andar de expansão, incluindo as duas válvulas existentes. Recorrendo à 1ª Lei da Termodinâmica, e considerando a expansão em regime permanente e adiabática, determinou-se o trabalho realizado em cada andar/grupo de expansão,

$$\dot{W} = \dot{m}_{vap}(h_e - h_s) \quad (5.2.2)$$

Nesta equação \dot{m}_{vap} equivale ao caudal de vapor que passa em cada grupo e h_e e h_s as respetivas entalpias de entrada e saída.

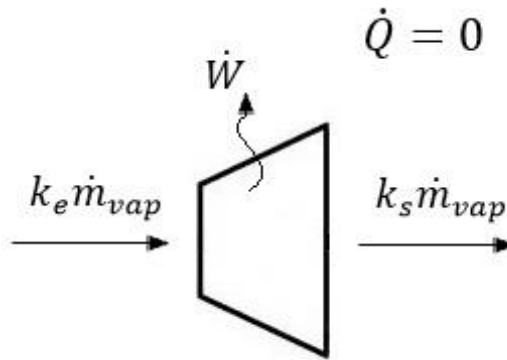


Figura 53 – Representação esquemática do balanço exergético a ter em conta num andar de expansão, sistema considerado adiabático.

O rendimento exergético de cada andar de expansão, segundo a sua definição fundamental, pode então ser calculado recorrendo à equação (5.2.3), que no caso concreto de uma turbina fica com a seguinte forma,

$$\eta_{ex_i}^f = \frac{\dot{m}_{vap_{s_i}} k_{s_i} + \dot{W}_i}{\dot{m}_{vap_{e_i}} k_{e_i}} \quad (5.2.3)$$

Sendo a parcela de cima representativa da soma da exergia física de saída do andar de expansão i com o trabalho realizado pelo mesmo e a parcela de baixo a respetiva exergia física de entrada.

O rendimento pode ainda ser visto segundo a sua definição, que vários autores designam por racional (Pinho, 2015),

$$\eta_{ex_i}^r = \frac{\dot{W}_i}{\dot{m}_{vap_{e_i}} k_{e_i} - \dot{m}_{vap_{s_i}} k_{s_i}} \quad (5.2.4)$$

Pode-se ainda, recorrendo ao conteúdo teórico já apresentado, calcular o valor da irreversibilidade de cada andar de expansão. Através do balanço exergético,

$$\dot{I}_i = \dot{m}_{vap_{e_i}} k_{e_i} - \dot{m}_{vap_{s_i}} k_{s_i} + \dot{W}_i \quad (5.2.5)$$

ou alternativamente, a partir do rendimento exergético já calculado,

$$\dot{I}_i = \dot{m}_{vap_{e_i}} k_{e_i} \times (1 - \eta_{ex_i}) \quad (5.2.6)$$

No entanto, de forma a evitar a propagação de eventuais erros, optou-se por utilizar a equação (5.2.5).

Na Tabela 12 expõem-se os valores de coentalpia, trabalho realizado, rendimento exergético e irreversibilidade obtidos por grupo de expansão do subsistema das turbinas.

Tabela 12 - Resultados obtidos para o subsistema turbinas.

Componente	Ponto (entrada)	k [kJ/kg]	\dot{W} [kW]	η_{ex}^f [%]	η_{ex}^r [%]	I [kW]
HPT	Válvula HPT	1526		99,8		807
	Admissão	1523				
	HPT Gr1	1461	14702	99,5	88,0	2001
	HPT Gr2	1209	62772	98,9	93,5	4391
MPT	Válvula MPT	1447		97,9		585
	Admissão	1444				
	MPT Gr3	1298	35714	99,6	96,3	1376
	MPT Gr4	1051	55529	92,2	68,5	2511
	MPT Gr5	853	39101	87,9	56,7	2341
LPT	Admissão	853				
	LPT Gr6	695	28687	98,5	91,6	2614
	LPT Gr7	508	30716	90,4	69,9	3552
	LPT Gr8	257	37569	87,6	76,5	5876
	LPT Gr9	148	13301	86,8	69,4	5322
TOTAL						31376

Dos valores calculados é ainda possível representar as irreversibilidades relativas do subsistema, conforme apresentado na Figura 54.

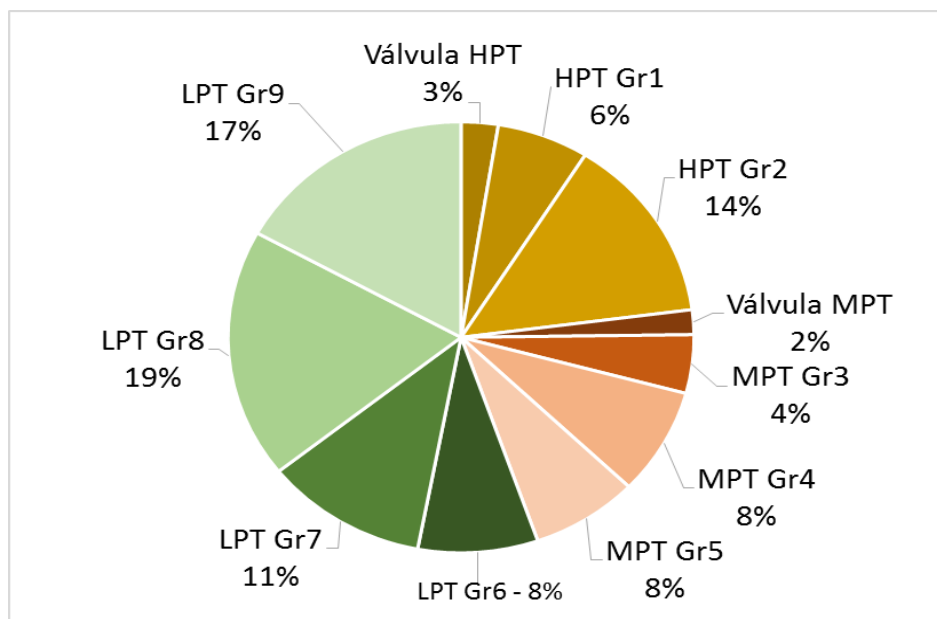


Figura 54 – Representação gráfica das irreversibilidades do subsistema turbinas dividida por turbinas e andares (Gr.) de expansão.

5.2.3 Permutadores de calor

O método utilizado para a análise do subsistema de permutadores de calor da central, constituído pelo condensador principal e pelos pré-aquecedores já mencionados neste trabalho, é em tudo semelhante ao do subsistema das turbinas, onde os processos térmicos que aqui ocorrem apenas englobam, uma vez mais, um transporte de exergia física. Sabe-se que, no caso real, os equipamentos deste sistema perdem algum calor para o exterior, no entanto, de forma a tornar esta análise menos extensa optou-se por considerar tanto o condensador como todos os pré-aquecedores, como sendo adiabáticos. Mesmo partindo deste pressuposto, levanta-se a questão de se o programa está de facto a considerar os equipamentos como adiabáticos. Nesse sentido, recorrendo novamente à 1ª Lei da Termodinâmica e consideradas as evoluções térmicas em regime permanente e o trabalho realizado nulo, tem-se o seguinte balanço energético,

$$\dot{Q} = \dot{m}_{vap}(h_{vap_e}) + \dot{m}_{cond_e}(h_{cond_e}) - (\dot{m}_{vap} + \dot{m}_{cond_e})(h_{cond_s}) + \dot{m}_{ág}(h_{ág_e} - h_{ág_s}) \quad (5.2.7)$$

Nesta equação considera-se a quantidade de calor libertado para o exterior \dot{Q} como sendo a diferença entre a quantidade de energia que entra no sistema e a quantidade de energia que abandona o sistema; estas variáveis são facilmente identificadas na Figura 55. Nos permutadores que não possuem entrada de condensados o respetivo caudal é considerado nulo, $\dot{m}_{cond_e} = 0$.

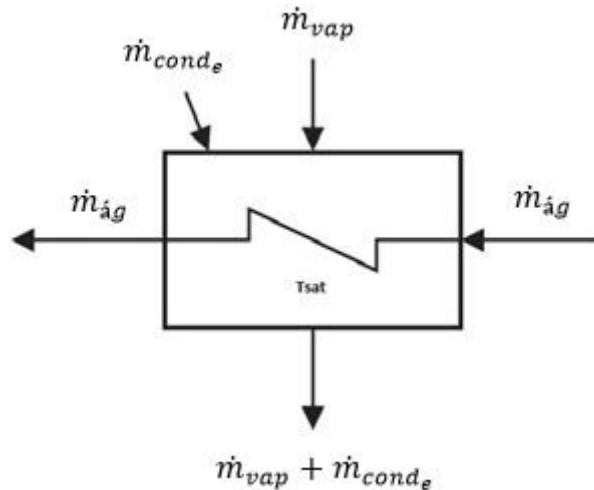


Figura 55 – Representação esquemática de um pré aquecedor.

À semelhança do que se fez na análise das turbinas, procedeu-se à importação dos valores dos parâmetros térmicos do modelo necessários ao cálculo a realizar, e que estão na Tabela 20 do Anexo C.

A Tabela 13 expõe os valores de \dot{Q} , calculados para cada equipamento do subsistema através da equação (5.2.7) de modo a confirmar-se se estes foram ou não considerados adiabáticos na análise do programa. De relembrar que os pré-aquecedores têm a notação abreviada de BP, para os de baixa pressão e AP, para os de alta pressão. O GSC (*Gland Steam Condenser*) consiste num permutador de calor que aproveita o vapor de fugas das turbinas para aquecimento dos condensados que saem do condensador principal, no entanto, visto ultrapassar os objetivos do trabalho, este sistema não foi analisado.

Tabela 13 - Valores do calor libertado por equipamento.

Componente	\dot{Q} [kW]
Condensador	0,043
GSC	4,682
BP1	0,002
BP2	-0,003
BP3	-0,005
BP4	-9,968
Tanque Alimentação	0,004
AP6	0,006
AP7	0,010

Por análise dos valores da Tabela 13, pode concluir-se que, face à ordem de grandeza das transferências de calor que ocorrem nestes componentes, o programa considera os permutadores de calor praticamente adiabáticos, pelo que faz sentido prosseguir com este pressuposto.

De modo em tudo idêntico ao sistema anterior, calcularam-se os valores de coentalpia para os pontos descritos na Tabela 20 do Anexo C e, a partir destes obtiveram-se os valores do rendimento exergetico fundamental e da irreversibilidade de cada componente utilizando as equações,

$$\eta_{ex_i}^f = \frac{\sum \dot{m}_{s_i} k_{s_i}}{\sum \dot{m}_{e_i} k_{e_i}} \quad (5.2.8)$$

e,

$$\dot{I}_i = \sum \dot{m}_{e_i} k_{e_i} - \sum \dot{m}_{s_i} k_{s_i} \quad (5.2.9)$$

onde $\sum \dot{m}_{e_i} k_{e_i}$ representa o somatório das exergias físicas de entrada e $\sum \dot{m}_{s_i} k_{s_i}$ o somatório das exergias físicas de saída do componente i .

Os resultados obtidos apresentam-se na Tabela 14.

Tabela 14 - Resultados obtidos para o subsistema permutadores.

Componente	Ponto	k [kJ/kg]	η_{ex} [%]	\dot{I} [kW]
Condensador	Entrada de vapor	144	1,9	24930
	Entrada água de arrefecimento	0		
	Saída de água de arrefecimento	0		
	Saída de condensados	3		
GSC	Entrada de água	5	88,4	126,0
	Entrada de vapor	685		
	Saída de água	5		
	Saída de condensados	40		
BP1	Entrada de vapor	256	88,3	256,8
	Entrada de água	5		
	Saída de água	10		
	Saída de condensados	9		
BP2	Entrada de vapor	508	82,5	1496
	Entrada de água (FWH3)	68		
	Entrada de água	10		
	Saída de água	36		
	Saída de condensados	11		
BP3	Entrada de vapor	689	92,4	1258
	Entrada de água	33		
	Saída de água	67		
	Saída de condensados	68		
BP4	Entrada de vapor	853	96,6	810
	Entrada de água	67		
	Saída de água	104		
	Saída de condensados	72		

Tanque de Alimentação	Entrada de vapor	1052	96,9	1356
	Entrada de água	102		
	Entrada de água (FWH6)	181		
	Saída de água	156		
AP6	Entrada de vapor	1295	97,4	1948
	Entrada de vapor (FWH7)	244		
	Entrada de água	177		
	Saída de água	248		
	Saída de condensados	181		
AP7	Entrada de vapor	1206	99,1	766
	Entrada de água	248		
	Saída de água	306		
	Saída de condensados	244		
TOTAL				32948

A Figura 56 representa as irreversibilidades relativas de cada componente na secção estudada, sendo visível que, de todos, o condensador é o elemento que mais contribui para a irreversibilidade do ciclo.

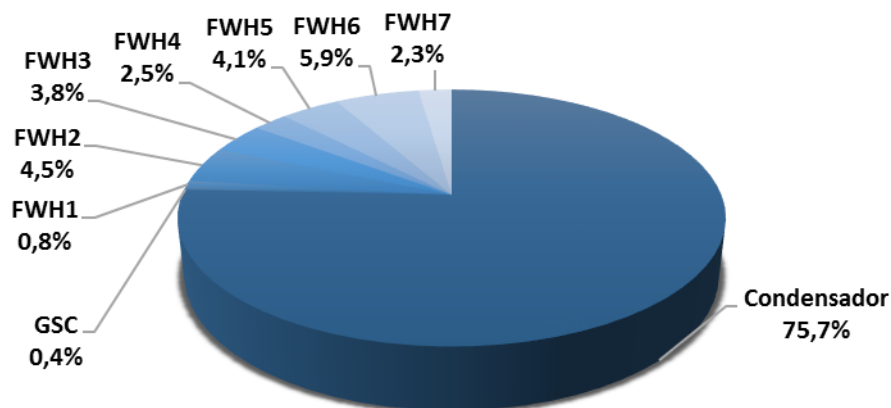


Figura 56 – Representação gráfica das irreversibilidades do subsistema permutadores dividida por componente.

5.2.4 Caldeira

O sistema caldeira da Central Termoelétrica de Sines foi considerado nesta análise como um volume de controlo que se restringe à carcaça da mesma, isto significa que foi apenas feito um balanço exergético considerando as entradas e saídas do sistema no seu geral (Figura 57), sendo uma análise mais detalhada e discretizada de cada zona da caldeira, alvo de um possível estudo para o futuro.

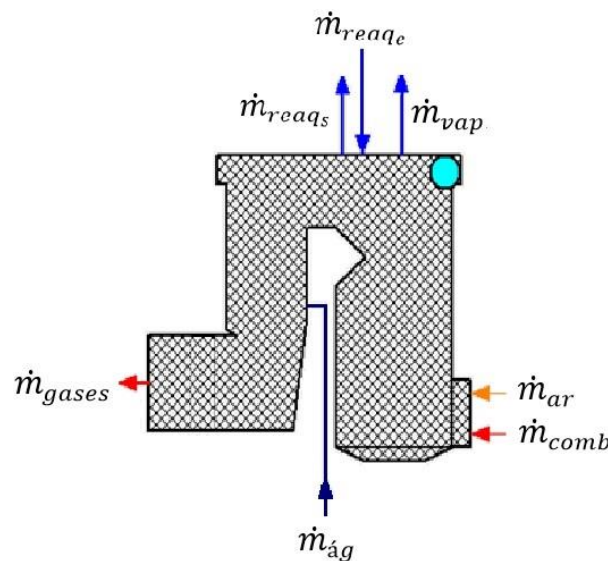


Figura 57 – Representação do subsistema caldeira.

Conforme ilustra a figura acima, na caldeira, em termos energéticos, consideraram-se as entradas de combustível \dot{m}_{comb} , de vapor a reaquecer, \dot{m}_{reaqs} , de água no economizador $\dot{m}_{\acute{a}g}$ e de ar \dot{m}_{ar} , aqui considerado como a soma do primário e do secundário. Em termos de saídas, tem-se a saída de vapor proveniente do sobreaquecedor final \dot{m}_{vap} , a saída do vapor depois de ter sido reaquecido \dot{m}_{reaqs} e por fim a saída dos gases de escape do processo de combustão \dot{m}_{gases} . Tem-se ainda a entrada de dois caudais de água de injeção para arrefecimento do vapor que não se encontram representados na figura, mas que serão devidamente considerados nos cálculos a efetuar (\dot{m}_{inj_1} e \dot{m}_{inj_2}). Este subsistema foi considerado adiabático.

Partindo da análise do volume de controlo da caldeira e importando os parâmetros necessários do modelo (disponíveis na tabela 21 em Anexos C), para a determinação do balanço exergético do sistema, verifica-se desde já, que se introduz um novo elemento que até aqui ainda não tinha sido introduzido na análise, o combustível.

O combustível utilizado na central é um carvão do tipo betuminoso com as propriedades descritas na Tabela 15.

Tabela 15 - Propriedades do carvão utilizado na central de Sines.

Poder Calorífico Inferior	26083	[kJ/kg]
Índice de Hardgrove	50	[%]
Granulometria	≤ 50	[mm]
Teor de Humidade	10	[%]
Teor Cinzas	11	[%]
Y_C	66	[%]
Y_{H_2}	4	[%]
Y_s	1	[%]
Y_{N_2}	1,5	[%]
Y_{Cl}	0,15	[%]
Y_{O_2}	6,35	[%]

A entrada deste combustível no sistema provoca a adição de massa ao sistema, com propriedades distintas do ambiente (visto que o carvão já foi pulverizado e aquecido nos moinhos), assim como a alteração química dos elementos intervenientes na reação de combustão (combustível e ar). Desta forma introduz-se na análise o conceito de exergia química que já foi abordado no início deste capítulo. Assim sendo, introduzindo as características do carvão da Tabela 15 na equação (5.1.5), e atendendo que $\frac{Y_{O_2}}{Y_C} < 0,666$, obteve-se,

$$\beta_1 = 1,0438 + 0,0013 \times \frac{4}{66} + 0,01083 \times \frac{6,35}{66} + 0,0549 \times \frac{1,5}{66} \quad (5.2.10)$$

$$\beta_1 = 1,0462 \quad (5.2.11)$$

$$\varepsilon_o = 26083 \times 1,0462 + 6,704 \times 0,01 \quad (5.2.12)$$

$$\varepsilon_o = 27287 \text{ [kJ/kg]} \quad (5.2.13)$$

Pode-se ainda determinar,

$$\varphi = 1,0462 \quad (5.2.14)$$

Finalmente, tem-se que a potência exergética total introduzida no sistema pelo combustível é de,

$$\dot{E}_{comb}^q = \dot{m}_{comb} \times \varphi \times PCI_{comb} = 829731 \text{ [kW]} \quad (5.2.15)$$

O cálculo das restantes exergias de entrada e saída do sistema seguem o mesmo raciocínio teórico das análises dos subsistemas anteriores, ou seja, a única componente exergética existente é a exergia física. Desta forma, fez-se um balanço em tudo semelhante ao do subsistema anterior, no qual se contabilizam as entradas e saídas de exergias físicas no sistema. Os resultados encontram-se na Tabela 16. De salientar que os gases de escape da caldeira saem com uma temperatura média de 405 °C e que é aproveitada num aquecedor regenerativo de ar que eleva a sua temperatura, pelo que nesta análise, esta exergia contida nos gases de escape que é aproveitada no dito regenerador se encontra representada na componente de exergia do ar.

Tabela 16 - Resultados obtidos para o subsistema caldeira.

Ponto	k [kJ/kg]	i [kW]
Entrada Água Economizador Inferior	320	74874
Entrada Água Injeção 1	178	1352
Entrada Água Injeção 2	178	5409
Entrada Vapor Reaquecedor	1214	302887
Entrada Ar Primário	128	2853
Entrada Ar Secundário	98	26787
Saída Vapor Reaquecedor	1457	363407
Saída Vapor Sobreaquecedor Final	1531	417096

Fazendo-se agora o balanço geral de exergia do sistema tem-se,

$$\dot{I} = \dot{E}_{comb}^q + \Sigma \dot{E}_s^f - \Sigma \dot{E}_s^f \quad (5.2.16)$$

onde, $\Sigma \dot{E}_s^f$ equivale ao somatório das exergias físicas de entrada da tabela acima e $\Sigma \dot{E}_s^f$ ao somatório das exergias físicas de saída do sistema. \dot{E}_{comb}^q é a exergia química introduzida pelo combustível e anteriormente calculada.

Da equação (5.2.16), tem-se que,

$$\dot{I} = 463391 [kW] \quad (5.2.17)$$

Finalmente, segundo a definição fundamental do rendimento exergético,

$$\eta_{ex\,caldeira}^f = \frac{\Sigma \dot{E}_s^f}{\dot{E}_{comb}^q + \Sigma \dot{E}_s^f} = 1 - \frac{\dot{I}}{\dot{E}_{comb}^q + \Sigma \dot{E}_s^f} = 62,7\% \quad (5.2.18)$$

Sendo o rendimento exergético racional,

$$\eta_{ex\,caldeira}^r = 44,2\% \quad (5.2.19)$$

5.2.5 Sistemas auxiliares

De forma a terminar a análise exergética do ciclo térmico da Central Termoelétrica de Sines com o máximo detalhe possível decidiu-se incluir uma última secção que engloba os sistemas auxiliares da central que mais influência apresentam no ciclo termodinâmico. Nesta secção incluiu-se a turbina auxiliar, o condensador auxiliar e a bomba de alimentação, já descritos no capítulo descritivo do funcionamento da central. Inclui-se ainda uma bomba de pequenas dimensões, que serve de apoio à bomba de alimentação, e a bomba de condensados que tem como função elevar a pressão dos condensados que saem do condensador.

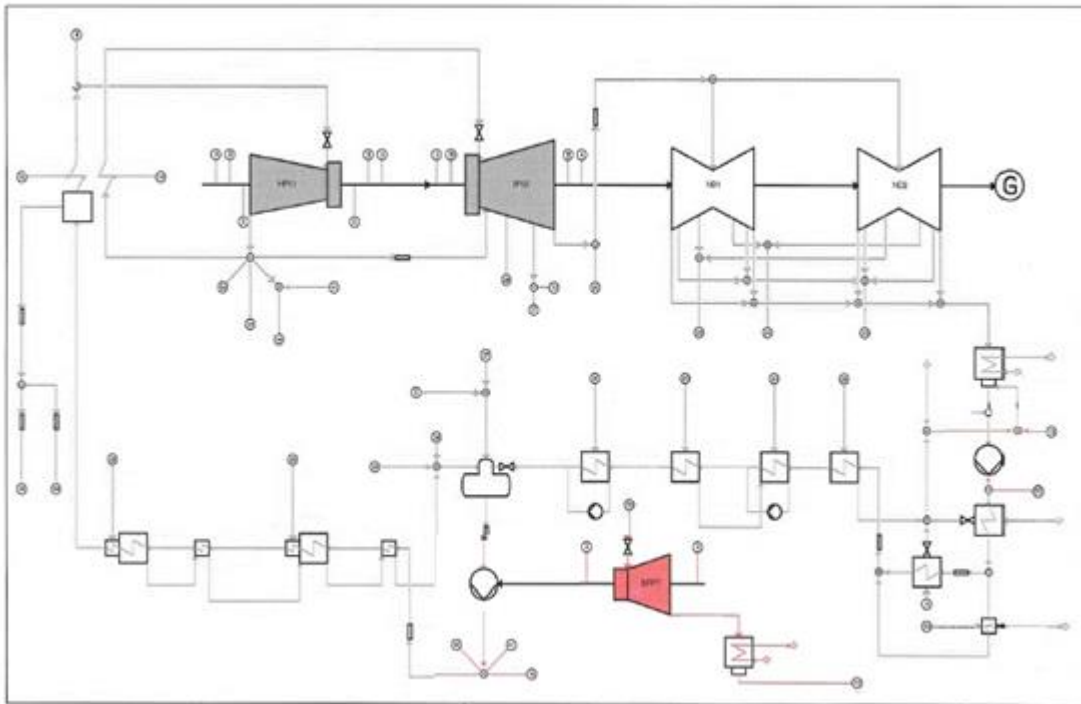


Figura 58 – Principais sistemas auxiliares presentes no ciclo água-vapor.

Depois de importar os dados do modelo necessários para os cálculos a efetuar (Tabela 22 do Anexo C), foram calculados os valores de coentalpia, rendimento exergético (fundamental) e irreversibilidade para cada componente. Os resultados encontram-se na Tabela 17. O método numérico utilizado para chegar aos resultados apresentados não será aqui descrito, uma vez que corresponde exatamente ao já utilizado nos respetivos equipamentos principais existentes nas secções anteriores. Deixa-se no entanto uma nota particular para a bomba de alimentação, para a qual a irreversibilidade foi determinada segundo,

$$\dot{i}_{bomba} = \dot{m}_{\dot{a}g_e} k_{\dot{a}g_e} + \dot{W}_{aux} - \dot{m}_{\dot{a}g_s} k_{\dot{a}g_s} \quad (5.2.20)$$

onde $\dot{m}_{\dot{a}g_s} k_{\dot{a}g_s}$ representa a exergia física da água de admissão da bomba, proveniente do tanque de alimentação, W_{aux} o valor absoluto do trabalho fornecido à bomba pela turbina auxiliar e $\dot{m}_{\dot{a}g_s} k_{\dot{a}g_s}$ a exergia que sai do sistema. O valor absoluto do trabalho realizado pela turbina foi de $W_{aux} = 8169 \text{ kW}$.

Tabela 17 - Resultados obtidos para o subsistema sistemas auxiliares.

Componente	Ponto	k [kJ/kg]	η^f_{ex} [%]	\dot{I} [kW]
Turbina auxiliar	Válvula de admissão	1050	99,0	129
	Entrada de vapor	1039	85,9	1732
	Saída de vapor	202		
Condensador auxiliar	Entrada de vapor	202	2,47	2328
	Entrada de água	0		
	Saída água	0		
	Saída de condensados	5		
Bomba de alimentação da caldeira	Entrada de água	157	95,1	2524
	Saída de água	178		
Bomba de apoio à bomba de alimentação da caldeira	Entrada de água	156	99,9	50
	Saída de água	157		
Bomba de extração de condensados	Entrada de água	2	73,8	235
	Saída de água	4		
TOTAL				6997

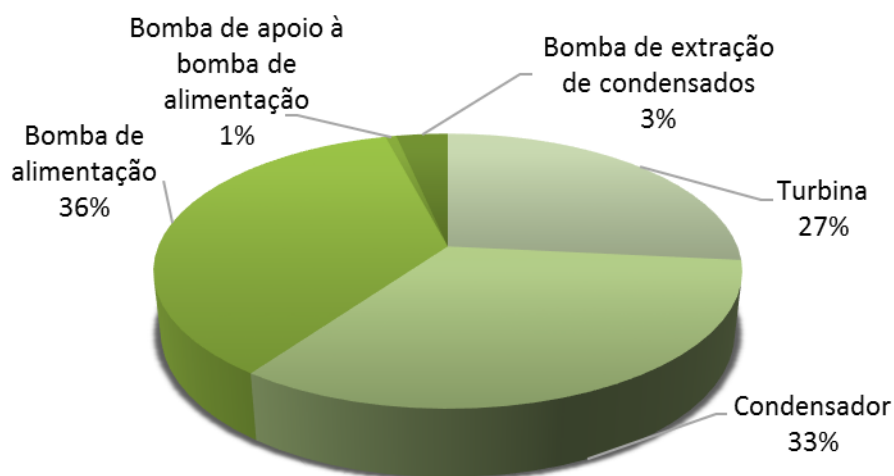


Figura 59 – Representação gráfica das irreversibilidades do subsistema sistemas auxiliares dividida por componente

5.3 Resumo

De forma a resumir a informação tratada nesta análise, apresentam-se na tabela abaixo os valores de irreversibilidade de cada um dos 4 subsistemas analisados no texto que se seguiu.

Tabela 18 - Valores de irreversibilidade obtidos por subsistema.

Subsistema	\dot{I} [kW]
Turbinas	31376
Permutadores de calor	32948
Caldeira	463391
Sistemas Auxiliares	6997
TOTAL	534712

O gráfico da Figura 60 representa o peso percentual das irreversibilidades dos quatro subsistemas da central termoelétrica de Sines.

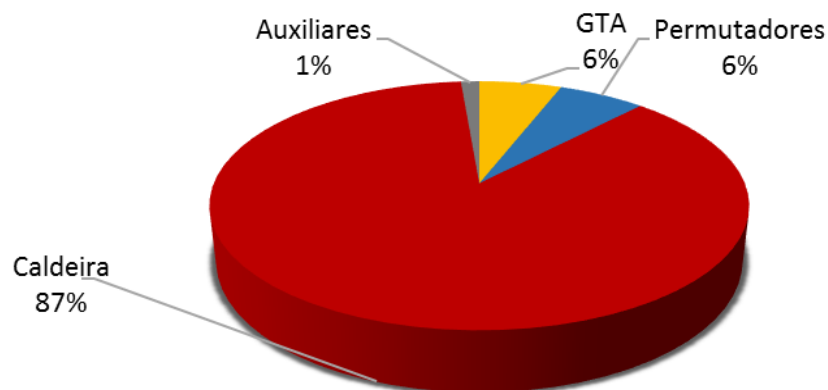


Figura 60 – Representação gráfica das irreversibilidades do ciclo por subsistema

Em complemento ao diagrama de setores da Figura 60 seguidamente mostra-se novo diagrama de setores onde se individualiza o condensador, enquanto os restantes permutadores continuam agrupados. Assim consegue-se ter uma melhor ideia dos pesos relativos das irreversibilidades nos principais componentes da central

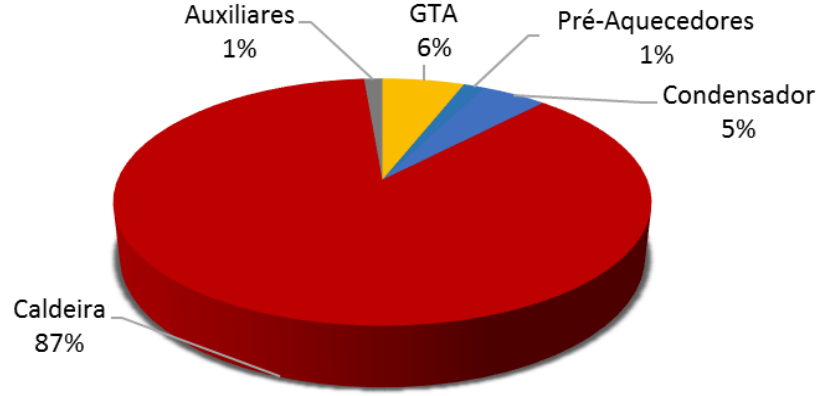


Figura 61 – Representação gráfica das irreversibilidades do ciclo com destaque para o condensador.

Deste diagrama constata-se que o grosso das perdas exergéticas ocorrem na caldeira e que embora em termos de perdas energéticas o condensador seja o principal responsável (cerca de 46 %), em termos quantitativos passou a ser de 5%.

Sabe-se que o rendimento elétrico bruto da instalação é dado por,

$$\eta_{el} = \frac{\dot{W}_e}{\dot{m}_{comb} \times PCI_{comb}} = \frac{314000}{30,41 \times 26083} = 39,6\% \quad (5.3.1)$$

De forma a simplificar os cálculos do rendimento e conforme é sugerido por Kotas (1985) e Pinho (2015), recorrendo à equação (5.1.9), o rendimento exergético racional esperado da instalação seria,

$$\eta_{ex}^e = \frac{\dot{W}_e}{\dot{m}_{comb} \times \varphi \times PCI_{comb}} = \frac{314000}{30,41 \times 1,0462 \times 26083} = 37,8\% \quad (5.3.2)$$

Finalmente, com os dados obtidos de irreversibilidade do sistema, obteve-se um valor de rendimento exergético da instalação dado pela seguinte equação,

$$\eta_{ex} = 1 - \frac{\dot{i}_{total}}{\dot{m}_{comb} \times \varphi \times PCI_{comb}} = 35,6\% \quad (5.3.3)$$

O resultado obtido demonstra um desvio de -2,2% em relação ao valor esperado. Este desvio está provavelmente associado à diferença de versões do modelo (já referida) que tiveram que ser utilizadas ao longo deste trabalho devido às limitações temporais impostas.

5.4 Determinação da curva de irreversibilidade do sistema de admissão de vapor da turbina de alta pressão durante o arranque do grupo 4

As válvulas de regulação da turbina de alta pressão (HPT) têm por objetivo variar o caudal de vapor para a turbina, em função da carga do grupo turboalternador. Estas válvulas estão localizadas tanto a jusante das válvulas de admissão como das de interceção, designando-se respetivamente por válvulas de regulação e válvulas de moderação.

Na Figura 62 mostra-se a vista frontal da turbina de alta pressão da central de Sines e em cada um dos lados, dispostos simetricamente, podem-se distinguir os blocos de válvulas, constituídos cada um deles por uma válvula de admissão e duas válvulas de regulação (SEFLOR, 1990)

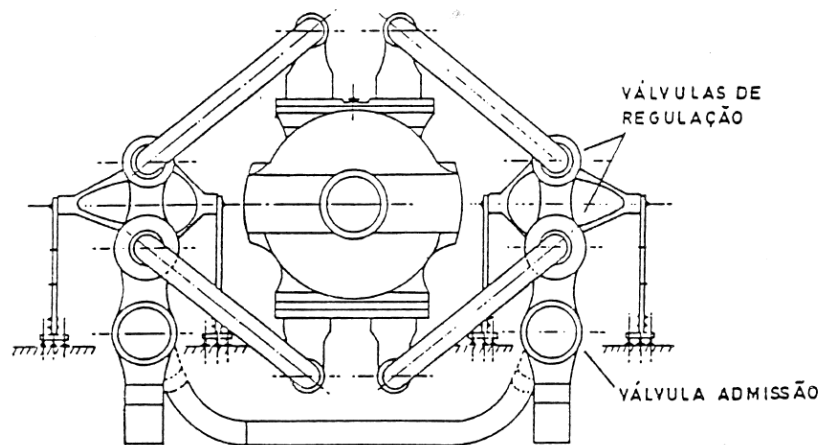


Figura 62 – Vista frontal da turbina de alta pressão.

Como se pode ver na Figura 63, cada válvula de regulação alimenta um setor definido de agulhetas. Este modo de regulação, designado de injeção parcial, é utilizado particularmente a baixas cargas. A abertura das válvulas de regulação não é portanto simultânea de forma a poder assegurar em cada instante um bom equilíbrio térmico e estrutural da turbina. As válvulas são denominadas por letras, conforme representado na figura, e a roda que se encontra no centro denomina-se de roda de ação, responsável pela transmissão do movimento de rotação às pás da turbina.

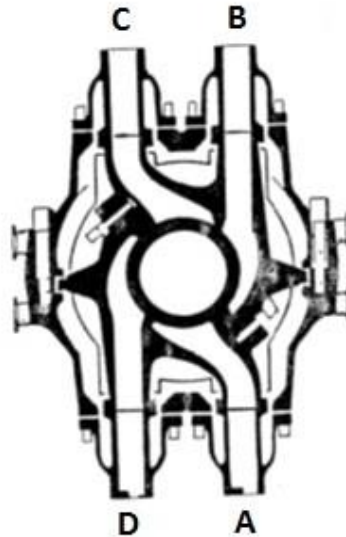


Figura 63 – Vista de corte da roda de ação, alimentação das quatro válvulas de regulação.

O modo funcionamento destas válvulas, juntamente com a forma de distribuição de pressões do sistema levanta sérias questões sobre a quantidade de energia que se estará a perder neste processo. Porém, uma forma de o saber é aplicando uma análise da segunda lei ao sistema, determinando-se a irreversibilidade que aqui se verifica. Conseguiu-se assim determinar os valores de irreversibilidade no conjunto das válvulas ao longo do arranque de um grupo, de forma visualizar-se uma curva de irreversibilidade que acompanha o arranque do grupo desde o seu ponto de paragem (0 MW) até à sua estabilidade à carga nominal (período de 4 horas).

Depois de recebidos os dados térmicos necessários, disponibilizados pela central, apresentados de uma forma em tudo semelhante ao levantamento dos dados do *Skipper* já tratado neste trabalho, foi possível averiguar sob forma gráfica, a evolução das variáveis mais importantes para esta análise. Na Figura 64 encontra-se representada a evolução da potência ao longo do arranque do grupo 4 da central no dia 12 de maio de 2015 (12:30-16:30). Na Figura 65 a evolução da pressão e temperatura na admissão do sistema e da pressão na exaustão. Como complemento informativo, mas não utilizados diretamente nos cálculos, mostram-se, nas Figuras 66 e 67, a evolução da abertura das 4 válvulas de regulação e a pressão à saída de cada uma, respetivamente.

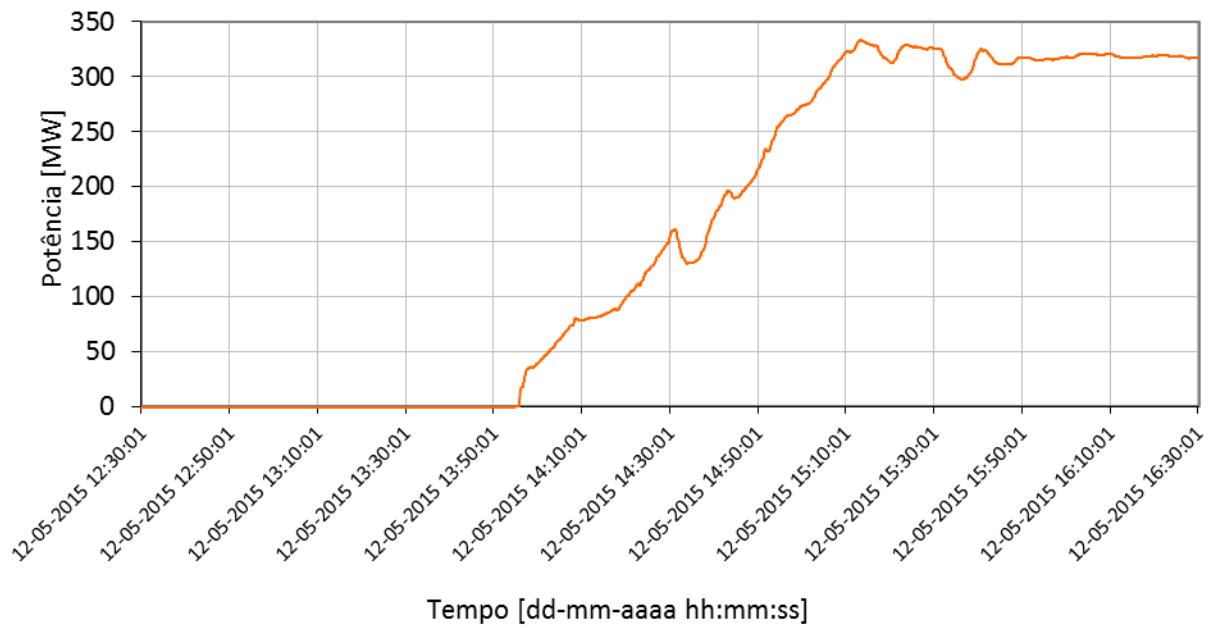


Figura 64 – Curva de potência.

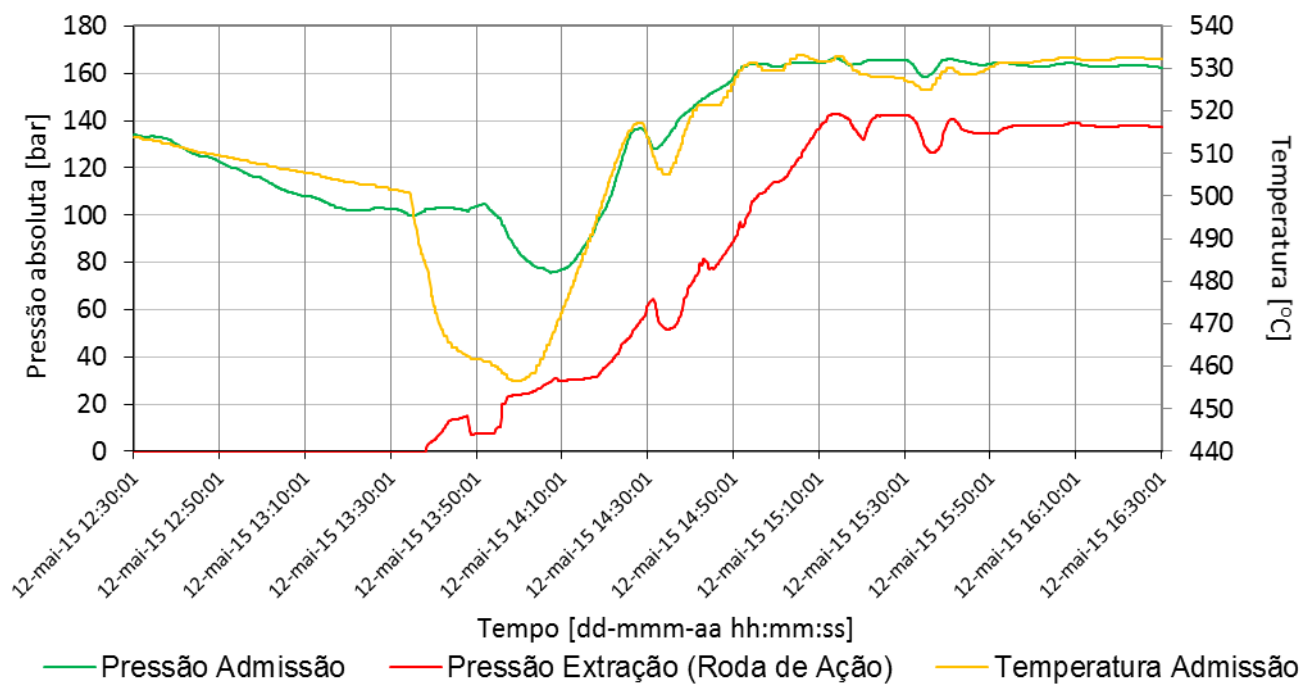


Figura 65 – Curvas de pressão e temperatura na admissão de vapor e pressão na extração.

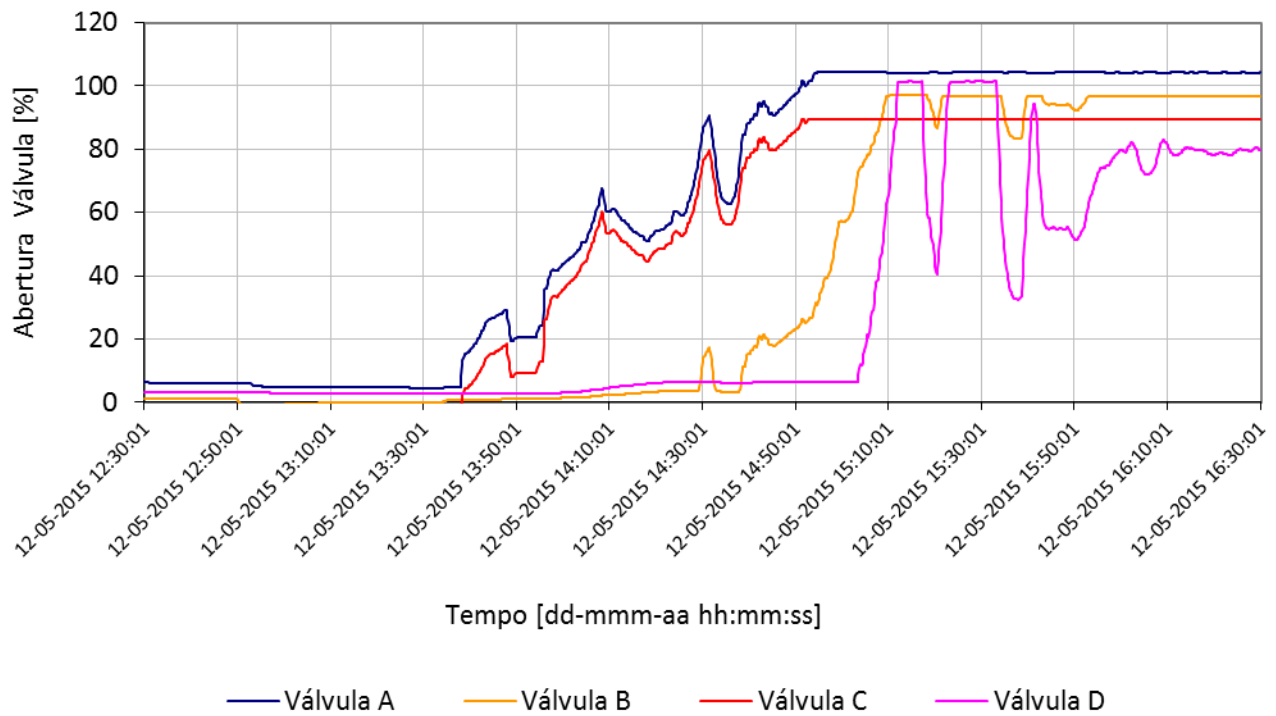


Figura 66 – Curvas de abertura das válvulas de regulação.

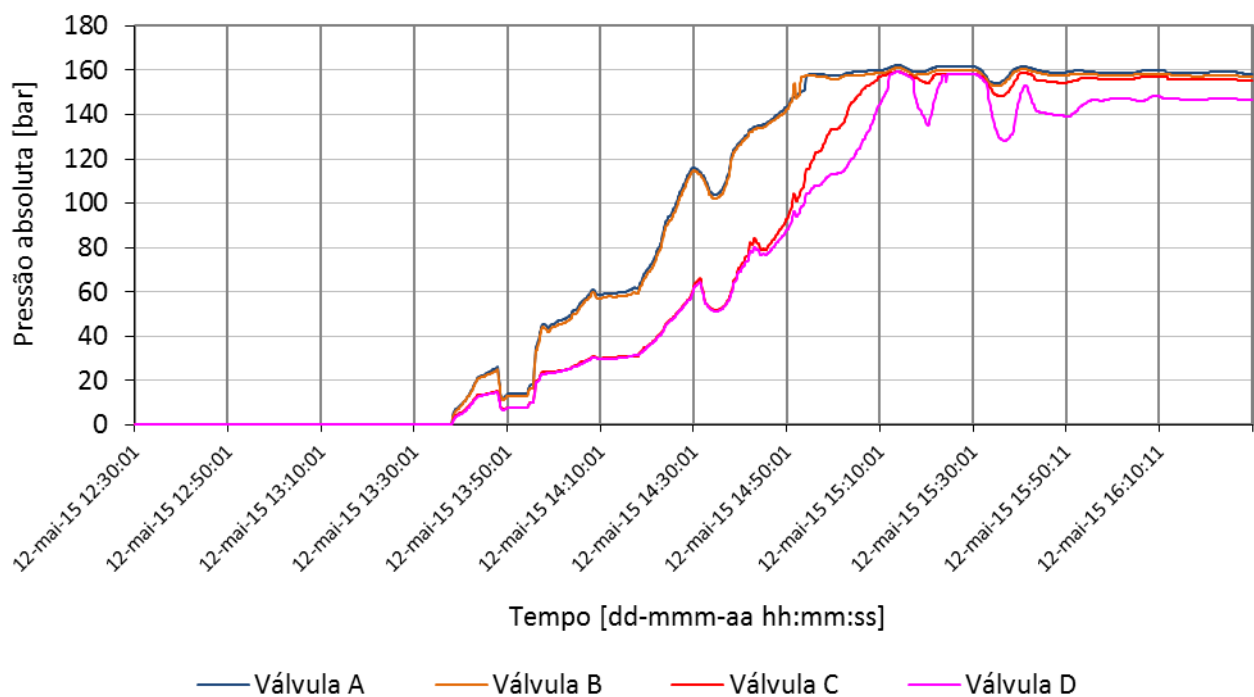


Figura 67 – Curvas de pressão das válvulas de regulação.

Os valores que permitiram a construção dos gráficos atrás apresentados encontram-se na Tabela 23 no Anexo C.

A utilização da ferramenta de cálculo termodinâmico incluído na extensão *PI Datalink*, já mencionada neste trabalho, permitiu o cálculo da entalpia e entropia de entrada no sistema a partir dos valores de temperatura e pressão para cada instante. Considerando a evolução isentálpica, ou seja, variação de entalpia nula, com o valor de pressão e entalpia de saída foi possível calcular o valor de entropia para este ponto em cada instante do arranque. Com as entalpias e entropias de entrada e saída determinadas, foi possível proceder ao cálculo da irreversibilidade do sistema, de forma em tudo idêntica ao cálculo já realizado para as válvulas nas secções anteriores deste capítulo. Isto é, considerando apenas a entrada e saída de exergia física, numa corrente em regime permanente e adiabática. Os valores de irreversibilidade para cada instante do arranque estão apresentados na Tabela 23 no Anexo C, sendo contudo mais facilmente interpretáveis no gráfico da Figura 68.

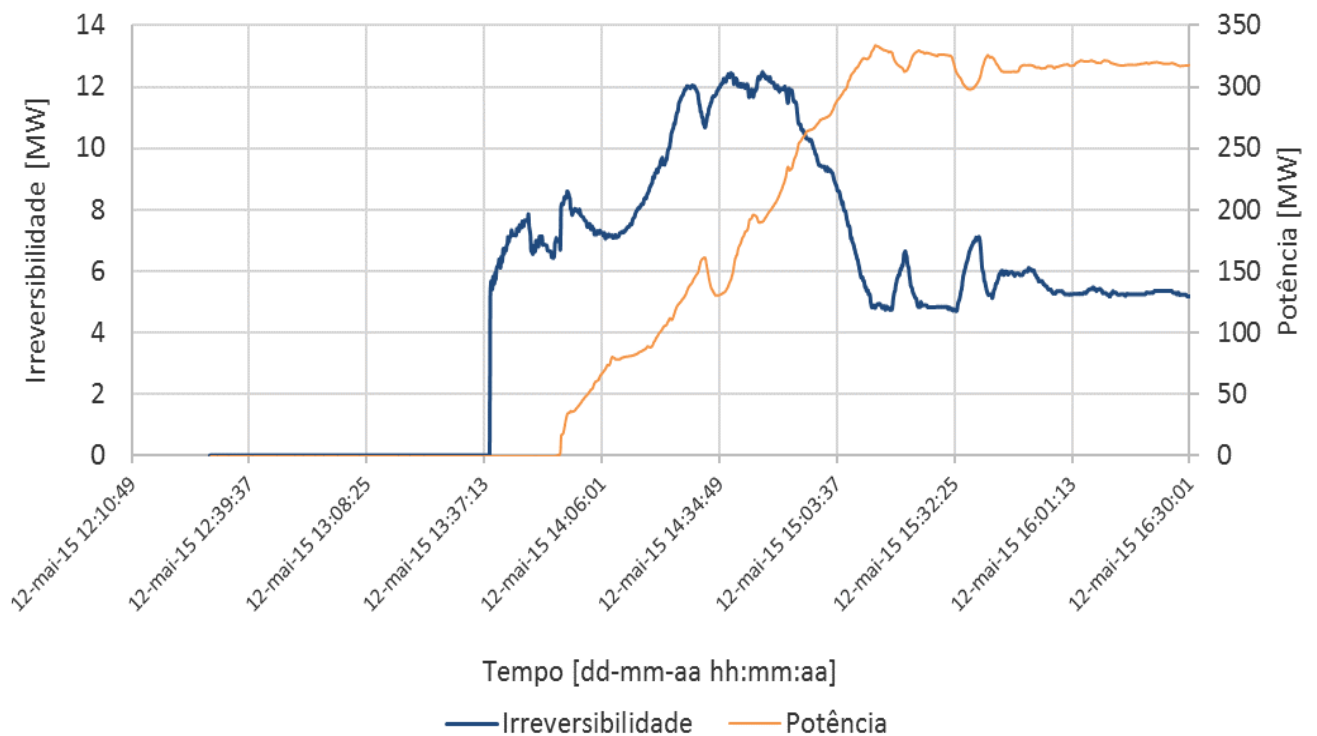


Figura 68 – Curva de irreversibilidade do sistema de admissão de vapor e curva de potência

Uma rápida análise à curva de irreversibilidade obtida permite concluir que esta apresenta um pico que chega a atingir os 12 MW quando a carga se encontra entre os 175 MW e os 200 MW. É importante referir que a roda de ação, apesar de residual, produz um determinado trabalho que não é passível de ser determinado por falta de informação, logo, aos valores verificados na curva, seria necessário subtrair este valor de trabalho produzido de forma a representar fielmente o valor de irreversibilidade.

Uma leitura mais atenta da evolução da abertura das válvulas permite observar que a irreversibilidade atinge o seu pico quando as válvulas A e C se encontram praticamente abertas, a válvula B aberta cerca de 20% e a válvula D ainda fechada. Com o abrir da válvula B a irreversibilidade baixa significativamente sendo o maior decréscimo de irreversibilidade visível quando a válvula D é aberta, nesta altura já as restantes válvulas se encontram com uma abertura superior a 80%. Quando em carga estável, durante os últimos 20 minutos do arranque, as quatro válvulas apresentam um comportamento estável, sendo que a válvula D nunca ultrapassa os 80% de abertura. A irreversibilidade nesta situação ronda os 5 MW.

De uma forma geral, pode-se portanto afirmar que a abertura das válvulas de regulação de caudal, controlada pelos operadores da central, é fundamental na evolução da irreversibilidade do sistema estudado, sendo a sua influência nitidamente visível. Note-se que flutuações pontuais na abertura das válvulas provocam flutuações significativas na curva de irreversibilidades. Mais especificamente, fechos repentinos das válvulas induzem na irreversibilidade picos repentinos. Para verificar esta situação atente-se ao comportamento da abertura da válvula D na Figura 66 em comparação com o comportamento da irreversibilidade na Figura 68.

Com a informação disponibilizada, não foi possível determinar numericamente a influência de cada válvula na irreversibilidade do sistema, uma vez que o caudal que passa em cada uma delas é desconhecido e, pela informação adiantada na empresa, este caudal não é medido fisicamente, pelo que dificilmente se poderá chegar a tais valores. De qualquer forma este seria um tópico a considerar para um eventual trabalho futuro. Uma avaliação do desenvolvimento da linha azul (irreversibilidade) da Figura 68 poderá possibilitar aos operadores o desenvolvimento de um procedimento de regulação e controlo que evite ou mesmo limite a colina intermédia que se constata na evolução desta curva. É evidente que o desenvolvimento de tal procedimento terá de ser compatível com as necessidades de regulação da central face às contingências operacionais que normalmente são impostas numa situação destas. Contudo, o conhecimento desta evolução da irreversibilidade é uma prova da utilidade prática da análise exergética e poderá, após um estudo mais aprofundado do procedimento de arranque, levar a economias de energia relevantes.

6 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

Verifica-se que o carvão é, no presente momento, um combustível fóssil que prospera no mercado global e que tem vindo a desenvolver, nos últimos 40 anos, um papel fundamental na produção de energia elétrica a nível mundial. A China destaca-se como principal dominador deste mercado, sendo, com uma larga vantagem, o maior produtor e importador deste recurso. Apesar do crescente interesse neste combustível verificado de uma perspetiva global, é notável o decréscimo da utilização do carvão nos países da OCDE, nomeadamente nos países da América do Norte e da Europa em detrimento da procura de novas fontes de energia renováveis ou com menores índices de poluição atmosférica, como é o caso do gás natural.

Dependente de inúmeros fatores, o mercado do carvão (muito mais complexo do que o apresentado neste trabalho) é um mercado extremamente dinâmico e que apresenta flutuações muitas vezes imprevisíveis. Em Portugal, o interesse pelo carvão tem vindo a aumentar nos últimos 5 anos dado o baixo preço que este tem apresentado no mercado, sendo praticamente todo importado. A grande maioria do carvão é utilizado para a produção de energia elétrica, sendo a central termoelétrica de Sines a única central de queima de carvão para produção de energia elétrica em funcionamento em Portugal, responsável pela produção de cerca de 17% da energia elétrica consumida em Portugal no ano de 2014.

A construção de um modelo virtual que simule o comportamento térmico da central de Sines constitui uma ferramenta com um enorme potencial, permitindo à empresa não só a realização de estudos mais rigorosos e exigentes em termos logísticos como a capacidade de os fazer num intervalo de tempo mais curto. Os resultados das simulações obtidas no modelo apresentaram um grau de aproximação ao comportamento real da central muito satisfatório, face às limitações temporais e logísticas que se foram impondo ao longo do trabalho. Os erros presentes no modelo podem ser explicados pela elevada complexidade do sistema e pelo não abrangimento de todos os equipamentos, pela ambiguidade na introdução de alguns parâmetros construtivos dos equipamentos, nomeadamente nas áreas de permuta de alguns componentes da caldeira, e pela limitação temporal na afinação dos métodos de controlo e relação entre variáveis do ciclo para os diferentes regimes de carga.

Desta forma, apesar de o modelo obtido apresentar já uma formulação compatível com a realização de simulações e testes para as mais diversas alterações do ciclo, providenciando uma ideia geral do comportamento da central perante as alterações impostas, a capacidade de resposta do programa, de forma a aproximar ainda mais o modelo ao caso real, é visível. Assim, um conjunto de ações para além da eliminação das causas de propagação de erro já mencionadas, poderia ser levado a cabo no âmbito de tornar o modelo já obtido ainda mais próximo da realidade. O alargamento do número de regimes de funcionamento da central a simular para cargas intermédias, a obtenção de mais do que um período de uma hora de funcionamento da central por cada regime de carga a comparar, e um estudo mais aprofundado sobre o programa que permitisse compreender melhor os métodos de cálculo e de controlo de determinadas variáveis, constituiriam, na presente ótica, as principais medidas

para tornar o modelo construído num modelo totalmente validado, capaz de simular o comportamento da central a um nível de aproximação bastante elevado.

A realização da análise exergética do ciclo permitiu não só demonstrar um exemplo de um estudo que pode ser feito de forma expedita com base no modelo construído, e que seria logisticamente muito complicado de concretizar com informação apenas proveniente da central, como também permitiu obter uma ideia atual da distribuição da quantidade de trabalho útil que é perdido ao longo do ciclo. O rendimento exergético do ciclo obtido foi de 35,6% sendo o valor esperado de 37,8%. Este erro pode ser em grande parte justificado pela utilização de duas versões distintas do modelo, derivado das limitações temporais impostas ao trabalho, e eventualmente por arredondamentos intermédios nos cálculos realizados.

A curva de irreversibilidade do sistema de admissão e regulação de vapor na turbina de alta pressão constitui um elemento de elevado valor técnico para a central, capaz não só de prover uma ideia da quantidade de energia que está a ser perdida neste conjunto e que poderia ser aproveitada, como também de abrir portas para a realização de novos estudos ou estratégias no sentido de minimizar estas perdas. Por indisponibilidade de informação, o trabalho da roda de ação do sistema não foi contabilizado pelo que este iria criar uma diminuição, ainda que reduzida, dos valores de irreversibilidades em todos os pontos.

De uma forma geral, o trabalho realizado mostrou-se extremamente ambicioso e desafiante, tendo sido os objetivos propostos cumpridos e os resultados obtidos satisfatórios. Tal permitiu não só a aquisição de um vasto conjunto de conhecimentos como também a aplicação dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso. Finalmente, constituiu um excelente primeiro impacto no mercado de trabalho e uma exímia preparação para o mesmo.

Referências

- Alstom, 2005, “Performance Projects, Minutes of JPDTR Meeting in Derby, UK”
- Ballat, M., 2009, “Coal in the Global Energy Scene, Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy”, Taylor & Francis, Londres
- BP, 2004, “BP Statistical Review of World Energy”
- BP, 2006, “BP Statistical Review of World Energy”
- EDP, 1986, “Livros BBC dos Grupos 1&2”
- EDP, 1999, “Diagrama Geral Água-Vapor do G.G.V. 4”
- EDP, 2002, “Desenho de Corte da Caldeira”
- EDP, 2003, “Enquiry Document for Sines, Aboño & Soto III Power Plants Flue Gas Desulphuration”
- EDP, 2006, “Centro de Produção de Sines, sistema de controlo da produção de cinzas volantes”
- EDP, 2007, “Ensaios de Rendimento GGV, GTA Global G2”
- EDP, 2015, último acesso: junho 2015, www.a-nossa-energia.edp.pt
- EDP, 2015, último acesso: junho 2015, www.a-nossa-energia.edp.pt
- EDP Produção, 2012, “Central Termoelétrica de Sines, a energia dos 25 anos”
- EDP Produção, 2015, “Apresentação Geral de Sines”
- Griffin Coal, “Coal Education”, último acesso: abril 2015, www.griffincoal.com.au
- IEA, 2009, “Energy Policies of IEA Countries, Portugal 2009 Edition”
- IEA, 2011, “Energy Statistics of OECD Countries 2011 Edition”
- IEA, 2013, “Coal Medium-term Market Report, 2013 Edition”
- IEA, 2014, “Key World Energy Statistics”
- IEA, 2015, “Portugal Charts of Energy”, último acesso: abril de 2015, www.iea.org

- Kotas, T.J., 1985, “The Exergy Method of Thermal Plant Analysis”, Butterworths, Londres
- MIT, 2007, “The Future of Coal, Options for a Carbon-Constrained World”
- Pinho, C., 2015, “Gestão da Energia Térmica”, DEMEC - Departamento de Engenharia Mecânica, FEUP - Faculdade de Engenharia do Porto, Porto
- Rudra, S., Shim, H. M. e Kim, H. T., 2008, “Exergetic Analysis of Coal Fired Thermal Power Plants Based Advance Steam Parameters”, Division of Energy Systems Research, Graduate School, Ajou University
- SEFLOR, 1990, “Formação 1990”, Edição da DRH, Lisboa
- Thermoflow Inc., 2015, último acesso: maio 2015, <http://www.thermoflow.com/>
- WCI, 2005, “The Coal Resource: A Comprehensive Overview of Coal”
- Wikienergia, 2010, “Central de Sines”, último acesso: maio 2015, www.wikienergia.pt

ANEXO A: Central termoelétrica de Sines



Figura 69 - Porto de Sines, percurso do carvão até a central.



Figura 70 – Parque de carvão.



Figura 71 – Máquina de empilhamento.



Figura 72 – Máquina de retoma do carvão.



Figura 73 – Tapete transportador de carvão.



Figura 74 – Moinhos de carvão.



Figura 75 – Vista exterior dos absorvedores.



Figura 76 – Vista exterior dos precipitadores eletrostáticos.



Figura 77 – Vista aérea da bacia de adução e dos canais de rejeição de água do mar.



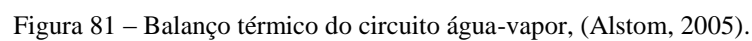
Figura 78 – Bacia de adução de água do mar.



Figura 79 – Canal de rejeição de água do mar.



Figura 80 – Sala de comando da central.



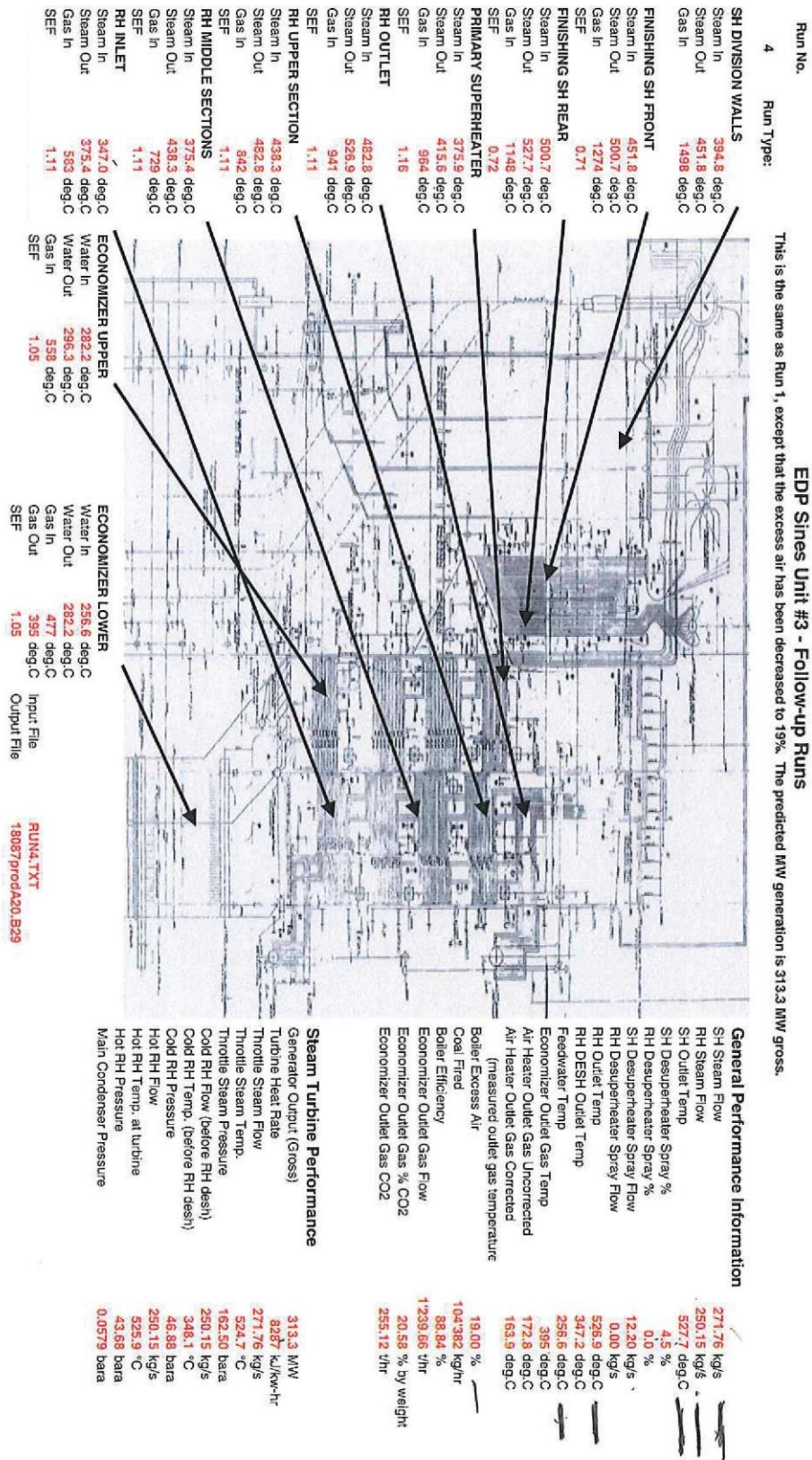


Figura 82 – Balanço térmico do circuito água-vapor/gases, (Alstom, 2005).

Site	Calculation Options	Piping Loss Assumptions	Miscellaneous Assumptions	Regional Costs	Site Characteristics	Buildings and Stack	Notes																								
Ambient temperature 15.8 °C Altitude 15 m Ambient pressure 1.011 bar Ambient relative humidity 77 % Ambient wet bulb temperature 13.41 C	<input type="button" value="Show ASHRAE Climate Data"/>				Makeup water pressure 4 bar Makeup water temperature 20 C Site cooling water temperature 20.85 C Site allowable cooling water temp. rise 10 C Makeup addition point Condenser hotwell																										
Methodology 2. User's assumptions prevail in STEAM PRO, but hardware / engineering results prevail in STEAM MASTER																															
Fuel Selection Plant Design is Based on: <input checked="" type="radio"/> Fuel 1 only <input type="button" value="Fuel 1"/> <input type="radio"/> Gas <input type="radio"/> Mixture of Fuel 1 and Fuel 2 <input type="button" value="Fuel 2"/> % of Fuel 1 in fuel mixture 100 % Name of fuel mixture Fuel mixture <input type="radio"/> Liquid <input checked="" type="radio"/> Solid																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Fuel</th> <th>Fuel 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Name</td> <td>Sines Coal</td> </tr> <tr> <td>Type</td> <td>Coal, bituminous</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Heating Values</td> </tr> <tr> <td>LHV (at 25C), kJ/kg</td> <td>26083</td> </tr> <tr> <td>HHV (at 25C), kJ/kg</td> <td>27200</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Ultimate Analysis</td> </tr> <tr> <td>Moisture, (wt.%)</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Ash, (wt.%)</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>Carbon, (wt.%)</td> <td>66</td> </tr> <tr> <td>Hydrogen, (wt.%)</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Nitrogen, (wt.%)</td> <td>1.5</td> </tr> </tbody> </table>								Fuel	Fuel 1	Name	Sines Coal	Type	Coal, bituminous	Heating Values		LHV (at 25C), kJ/kg	26083	HHV (at 25C), kJ/kg	27200	Ultimate Analysis		Moisture, (wt.%)	10	Ash, (wt.%)	11	Carbon, (wt.%)	66	Hydrogen, (wt.%)	4	Nitrogen, (wt.%)	1.5
Fuel	Fuel 1																														
Name	Sines Coal																														
Type	Coal, bituminous																														
Heating Values																															
LHV (at 25C), kJ/kg	26083																														
HHV (at 25C), kJ/kg	27200																														
Ultimate Analysis																															
Moisture, (wt.%)	10																														
Ash, (wt.%)	11																														
Carbon, (wt.%)	66																														
Hydrogen, (wt.%)	4																														
Nitrogen, (wt.%)	1.5																														
Cooling System Type Under natural draught water condenser Water cooling with mechanical draft cooling tower Water cooling with wet-dry cooling tower Water cooling with dry cooling tower Water cooling with natural draft cooling tower (separate stack) Water cooling with natural draft cooling tower (no stack) Dry air cooled condenser Air cooled condenser with air pre-cooled Air cooled condenser with continuous air saturation Air cooled wet surface condenser																															
District Heating System Type None																															

Figura 83 – Janela de caracterização geográfica e do combustível – *Steam Pro*.

Feedwater Heater Thermal Parameters	FWH Hardware Assumptions	Miscellaneous Assumptions
Feedwater Exit Temperatures <input type="radio"/> Automatic <input checked="" type="radio"/> User-defined - Port pressures computed <input type="radio"/> User-defined - Valve DP computed	PWH 7 - Flash back heater with Drain cooler (D) 1. Turbine port pressure (for info) 47.72 bar 2. Feedwater exit temperature 256.5 C 3. Terminal temperature difference 3.32 C 4. Drain cooler approach temp. difference 2.7 C	5. Residual superheat at desuperheater exit 20 C 6. Heating steam pipe pressure loss 2 % 7. Heating steam pipe enthalpy drop 0 kJ/kg
Click on a feedwater heater to edit its heat transfer parameters		

Figura 84 – Janela de caracterização dos pré-aquecedores – *Steam Pro*.

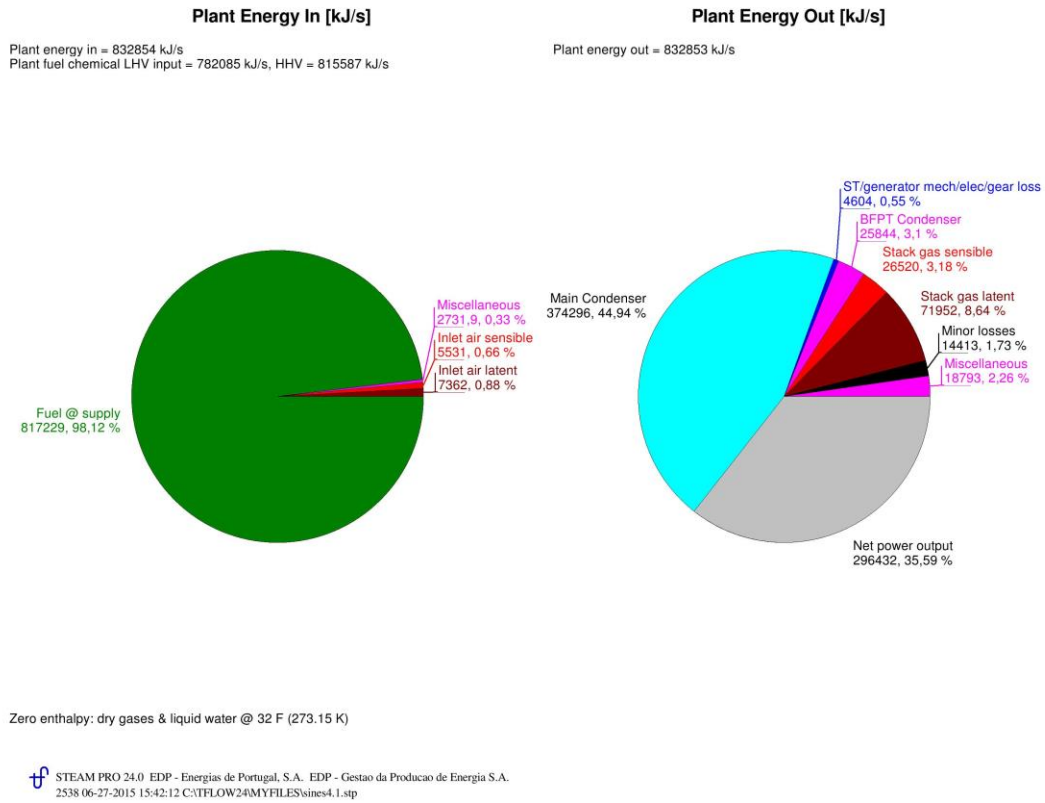


Figura 85 – Resultado da análise de primeira lei da simulação – *Steam Pro*.

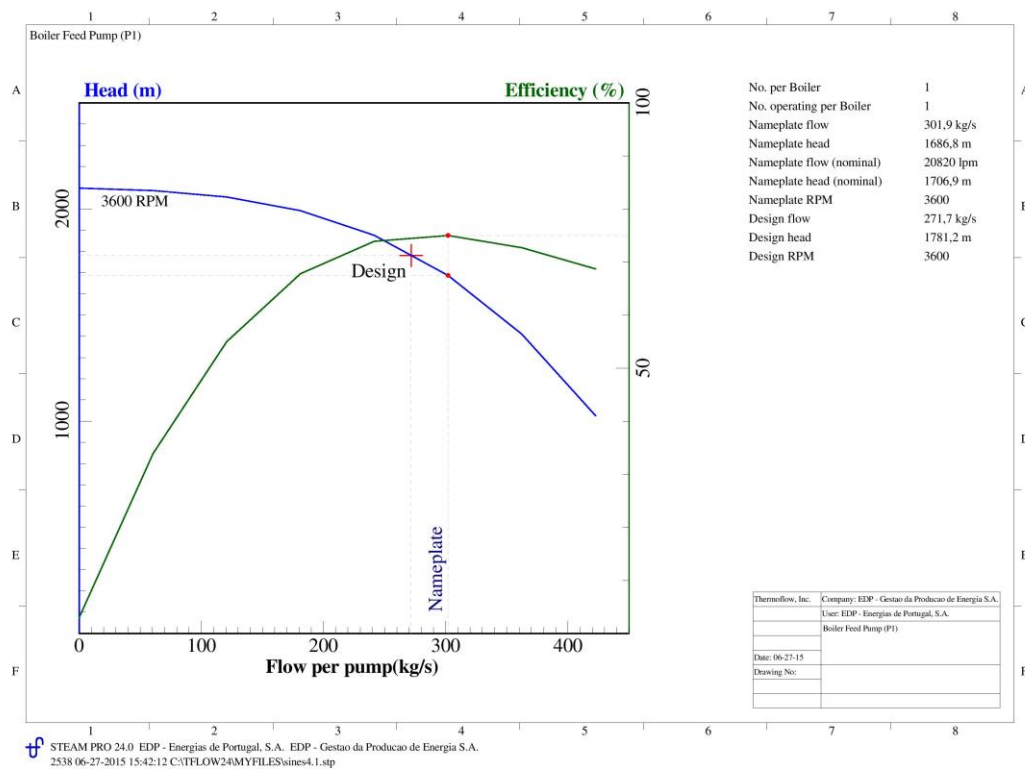


Figura 86 – Caracterização do funcionamento da bomba de alimentação da caldeira – *Steam Pro*.

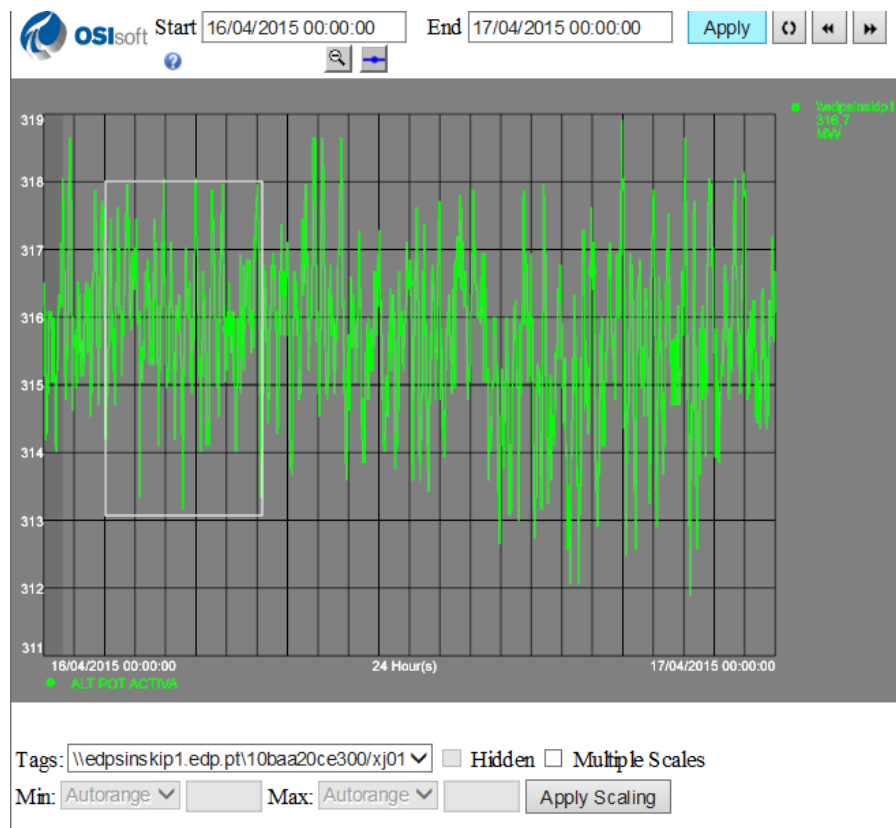


Figura 87 – Histórico da potência bruta de um grupo da central (16/04/15).

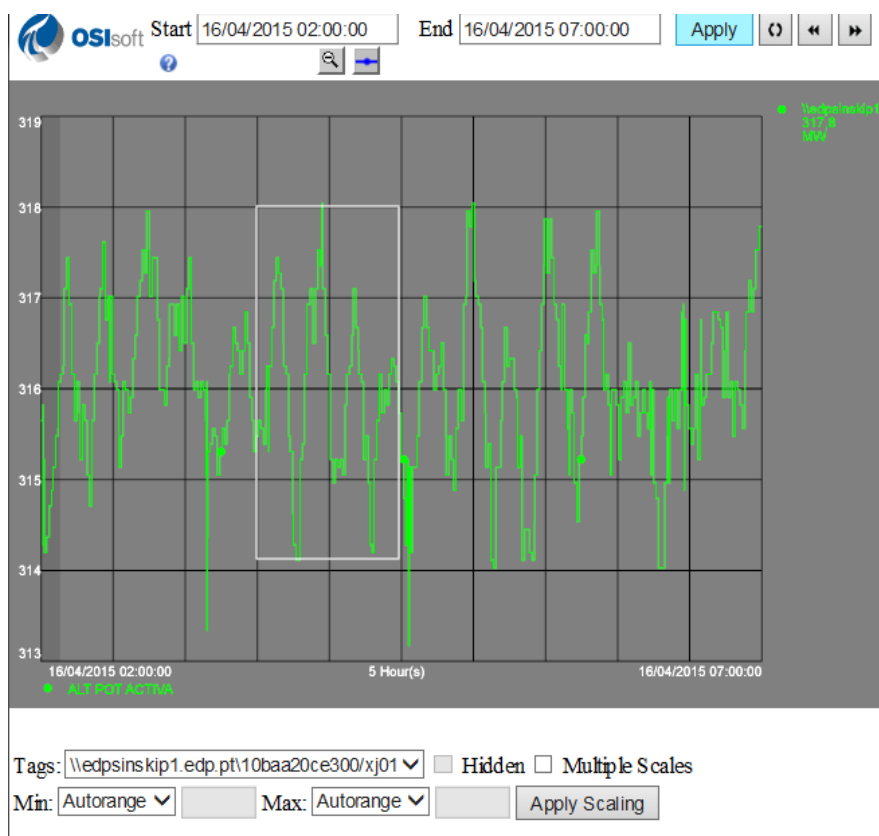


Figura 88 – Histórico da potência bruta de um grupo da central (16/04/15 02:00:00 – 07:00:00).

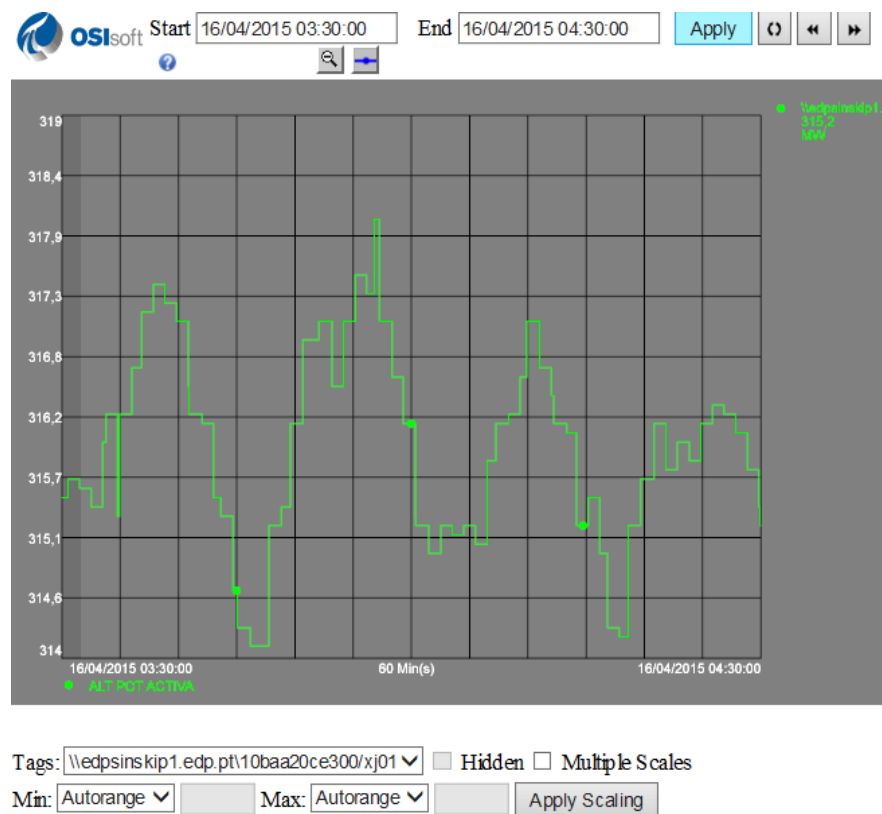


Figura 89 – Histórico da potência bruta de um grupo da central (16/04/15 03:30:00 – 04:30:00).

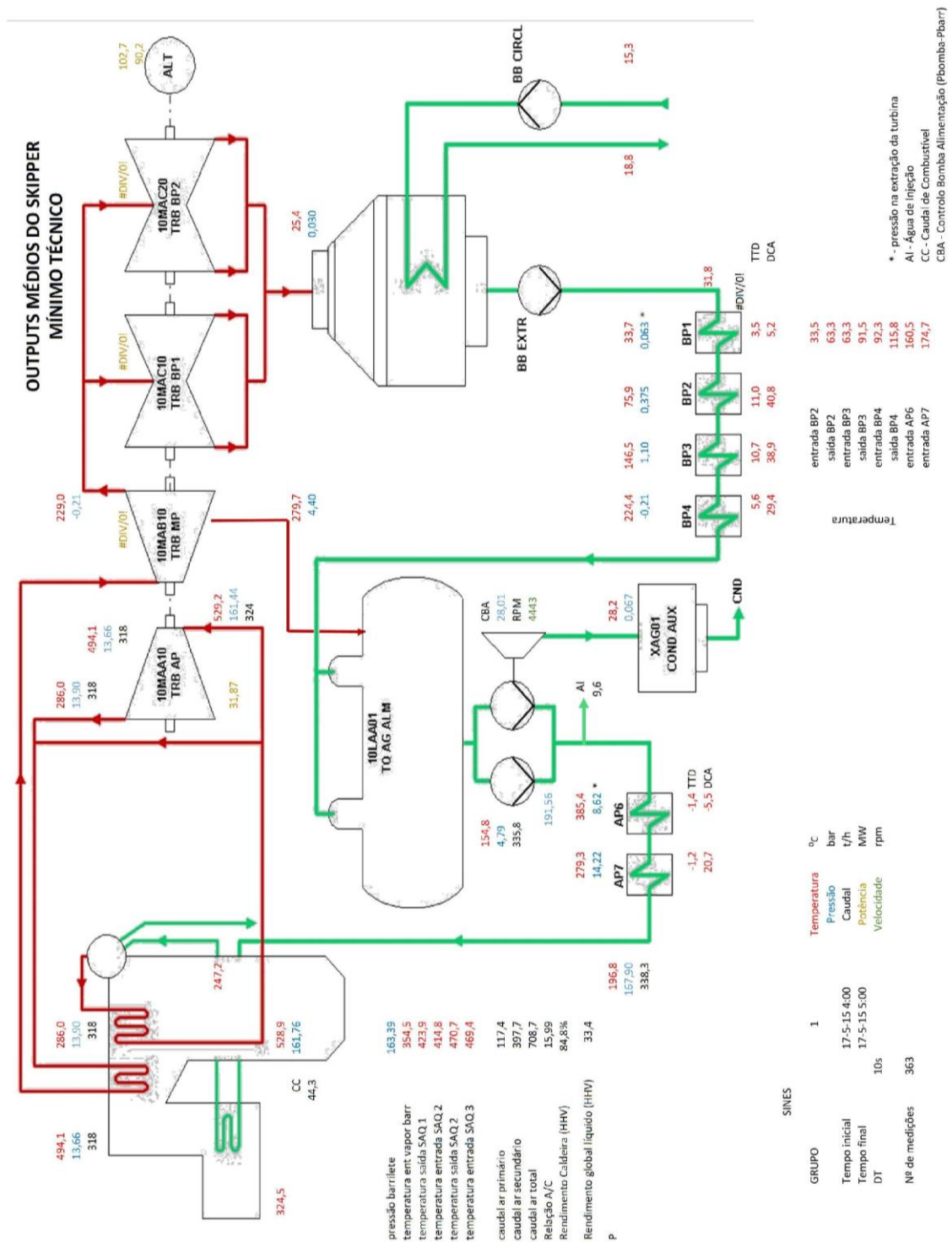


Figura 90 – Representação gráfica dos valores retirados do Skipper (17/05/15).

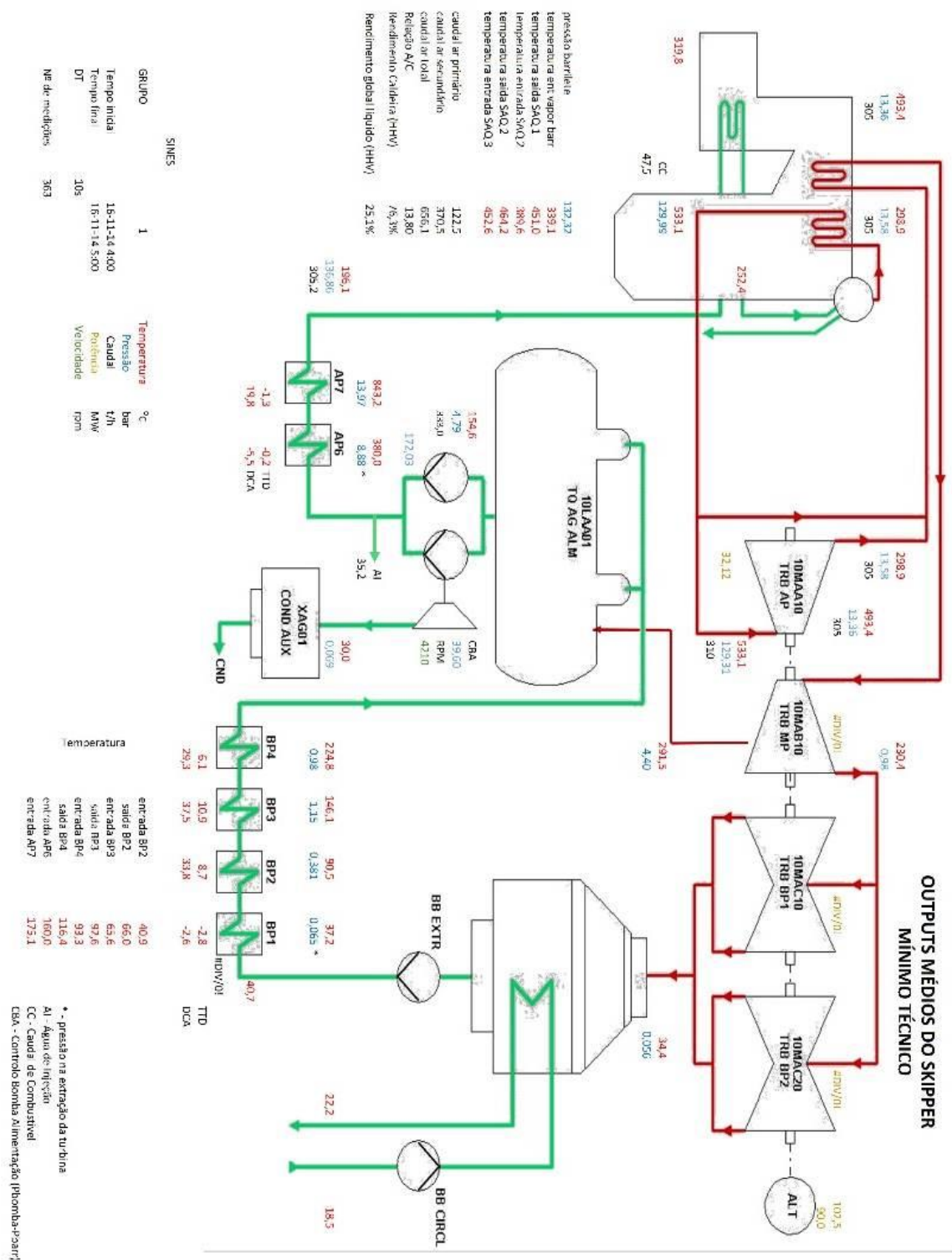


Figura 91 – Representação gráfica dos valores retirados do *Skipper* (16/11/14).

ANEXO C: Análise exergética do ciclo térmico

Tabela 19 - Resultados importados do *Steam Pro* para o subsistema turbinas.

		Base Case	Case 1
Computation Message ->		OK	OK
INPUT VARIABLE DESCRIPTION	Units	Input	Input
Ambient pressure	bar	1,011	1,011
Ambient temperature	C	15,8	15,8
Ambient relative humidity	%	77	77
Site cooling water temperature	C	20,85	20,85
Desired HPT inlet flow	kg/s	271,7	271,7
OUTPUT VARIABLE DESCRIPTION	Units	Output	Output
ST group 1 blading exit Mass Flow	kg/s	266,6	266,6
ST group 2 blading exit Mass Flow	kg/s	266,6	266,6
ST group 3 inlet Mass Flow	kg/s	253,1	253,1
ST group 3 blading exit Mass Flow	kg/s	253,1	253,1
ST group 4 blading exit Mass Flow	kg/s	235,3	235,3
ST group 5 blading exit Mass Flow	kg/s	209,1	209,1
ST group 6 inlet Mass Flow	kg/s	197,8	197,8
ST group 6 blading exit Mass Flow	kg/s	197,8	197,8
ST group 7 blading exit Mass Flow	kg/s	183,9	183,9
ST group 8 blading exit Mass Flow	kg/s	172,7	172,7
ST group 9 blading exit Mass Flow	kg/s	170,6	170,6
HPT inlet, after stop valves Enthalpy	kJ/kg	3365	3365
ST group 1 blading exit Enthalpy	kJ/kg	3309	3309
ST group 2 blading exit Enthalpy	kJ/kg	3074	3074
ST group 3 inlet Enthalpy	kJ/kg	3497	3497
ST group 3 blading exit Enthalpy	kJ/kg	3356	3356
ST group 4 blading exit Enthalpy	kJ/kg	3128	3120
ST group 5 blading exit Enthalpy	kJ/kg	2933,	2933,
ST group 6 inlet Enthalpy	kJ/kg	2933,	2933,
ST group 6 blading exit Enthalpy	kJ/kg	2788,	2788,
ST group 7 inlet Enthalpy	kJ/kg	2788,	2788,
ST group 7 blading exit Enthalpy	kJ/kg	2621,	2621,
ST group 8 inlet Enthalpy	kJ/kg	2621,	2621,

ST group 8 blading exit Enthalpy	kJ/kg	2403,5	2403,5
ST group 9 inlet Enthalpy	kJ/kg	2403,5	2403,5
ST group 9 blading exit Enthalpy	kJ/kg	2308,8	2308,8
LPT exhaust Enthalpy	kJ/kg	2325,6	2325,6
HPT inlet, after stop valves Entropy	kJ/kg-C	6,395	6,395
ST group 1 blading exit Entropy	kJ/kg-C	6,421	6,421
ST group 2 blading exit Entropy	kJ/kg-C	6,478	6,478
ST group 3 inlet Entropy	kJ/kg-C	7,129	7,129
ST group 3 blading exit Entropy	kJ/kg-C	7,148	7,148
ST group 4 blading exit Entropy	kJ/kg-C	7,198	7,185
ST group 5 blading exit Entropy	kJ/kg-C	7,224	7,224
ST group 6 inlet Entropy	kJ/kg-C	7,224	7,224
ST group 6 blading exit Entropy	kJ/kg-C	7,27	7,27
ST group 7 blading exit Entropy	kJ/kg-C	7,337	7,337
ST group 8 blading exit Entropy	kJ/kg-C	7,455	7,455
ST group 9 blading exit Entropy	kJ/kg-C	7,509	7,509
LPT exhaust Entropy	kJ/kg-C	7,563	7,563
HPT expansion power	kW	77475	77475
IPT1 expansion power	kW	130136	130136
IPT2 expansion power	kW	N/A	N/A
LPT1 expansion power	kW	110275	110275
LPT2 expansion power	kW	N/A	N/A
LPT4 expansion power	kW	N/A	N/A
LPT5 expansion power	kW	N/A	N/A
LPT6 expansion power	kW	N/A	N/A
HPT group 1 efficiency	%	66,75	66,75
HPT group 2 efficiency	%	87,	87,
IPT1 group 3 efficiency	%	86,6	86,6
IPT1 group 4 efficiency	%	88,29	88,29
IPT1 group 5 efficiency	%	93,6	93,6
LPT1 group 6 efficiency	%	88,06	88,06
LPT1 group 7 efficiency	%	87,22	87,22
LPT1 group 8 efficiency	%	85,	85,
LPT1 group 9 efficiency	%	70,	70,
HPT inlet pressure before stop valve	bar	162,5	162,5
HPT inlet temperature before stop valve	C	524,7	524,7
HPT inlet mass flow before stop valve	kg/s	271,7	271,7
HPT inlet, before stop valves Enthalpy	kJ/kg	3365	3365
HPT inlet, before stop valves Entropy	kJ/kg-C	6,385	6,385
IPT inlet, before intercept valve Mass Flow	kg/s	248,1	248,1
IPT inlet, before intercept valve Pressure	bar	43,68	43,68
IPT inlet, before intercept valve Temperature	C	525,9	525,9
IPT inlet, before intercept valve Enthalpy	kJ/kg	3500	3500
IPT inlet, before intercept valve Entropy	kJ/kg-C	7,121	7,121

Tabela 20 - Resultados importados do *Steam Pro* para o subsistema permutadores.

		Base Case	Case 1
Computation Message ->		OK	OK
INPUT VARIABLE DESCRIPTION	Units	Input	Input
Ambient pressure	bar	1,011	1,011
Ambient temperature	C	15,8	15,8
Ambient relative humidity	%	77	77
Site cooling water temperature	C	20,85	20,85
Desired HPT inlet flow	kg/s	271,7	271,7
OUTPUT VARIABLE DESCRIPTION	Units	Output	Output
Condenser inlet steam Mass Flow	kg/s	176,	176,
Condenser CW inlet Mass Flow	kg/s	9396	9396
Condenser CW exit Mass Flow	kg/s	9396	9396
Condenser condensate exit Mass Flow	kg/s	176,	176,
CW leaving cooling system Mass Flow	kg/s	9895	9895
CW after circulation pump Mass Flow	kg/s	9895	9895
Condensate Forwarding Pump: Discharge flow	kg/s	187,4	187,4
GSC inlet steam Mass Flow	kg/s	0,1764	0,1764
GSC inlet water Mass Flow			187,4
FWH1 heating steam Mass Flow	kg/s	4,864	4,864
FWH1 feedwater inlet Mass Flow	kg/s	187,4	187,4
FWH1 feedwater exit Mass Flow	kg/s	187,4	187,4
FWH1 drain Mass Flow	kg/s	4,864	4,864
FWH2 heating steam Mass Flow	kg/s	11,2	11,2
FWH3 drain Mass Flow	kg/s	13,89	13,89
FWH2 feedwater inlet Mass Flow	kg/s	187,4	187,4
FWH2 feedwater exit Mass Flow	kg/s	187,4	187,4
FWH2 drain Mass Flow	kg/s	25,09	25,09
FWH3 heating steam Mass Flow	kg/s	13,89	13,89
FWH3 feedwater inlet Mass Flow	kg/s	212,5	212,5
FWH3 feedwater exit Mass Flow	kg/s	212,5	212,5
FWH3 drain Mass Flow	kg/s	13,89	13,89
FWH4 heating steam Mass Flow	kg/s	11,02	11,02
FWH4 feedwater inlet Mass Flow	kg/s	212,5	212,5
FWH4 feedwater exit Mass Flow	kg/s	212,5	212,5
FWH4 drain Mass Flow	kg/s	11,02	11,02
FWH5 heating steam Mass Flow	kg/s	13,95	13,95
FWH5 feedwater exit Mass Flow	kg/s	223,5	223,5
FWH6 drain Mass Flow	kg/s	34,24	34,24

FWH5 drain Mass Flow	kg/s	48,19	48,19
FWH6 heating steam Mass Flow	kg/s	17,79	17,79
FWH7 drain Mass Flow	kg/s	16,45	16,45
FWH6 feedwater inlet Mass Flow	kg/s	263,5	263,5
FWH6 feedwater exit Mass Flow	kg/s	263,5	263,5
FWH6 drain Mass Flow	kg/s	34,24	34,24
FWH7 heating steam Mass Flow	kg/s	16,45	16,45
FWH7 feedwater inlet Mass Flow	kg/s	263,5	263,5
FWH7 drain Mass Flow	kg/s	16,45	16,45
Condenser inlet steam Enthalpy	kJ/kg	2276,1	2276,1
Condenser CW exit Enthalpy	kJ/kg	123,	123,
CW leaving cooling system Enthalpy	kJ/kg	123,6	123,6
CW after circulation pump Enthalpy	kJ/kg	83,14	83,14
Condenser condensate exit Enthalpy	kJ/kg	148,9	148,9
Condensate Forwarding Pump: Discharge enthalpy	kJ/kg	154	154
GSC inlet steam Enthalpy	kJ/kg	3079	3079
GSC outlet condensate Enthalpy	kJ/kg	395,5	395,5
GSC water inlet Enthalpy			154,1
GSC water outlet Enthalpy			156,6
FWH1 heating steam Enthalpy	kJ/kg	2403,5	2403,5
FWH1 feedwater inlet Enthalpy	kJ/kg	156,6	156,6
FWH1 feedwater exit Enthalpy	kJ/kg	213,4	213,4
FWH1 drain Enthalpy	kJ/kg	216,4	216,4
FWH2 heating steam Enthalpy	kJ/kg	2621,	2621,
FWH3 drain Enthalpy	kJ/kg	515,1	515,1
FWH2 feedwater inlet Enthalpy	kJ/kg	213,4	213,4
FWH2 feedwater exit Enthalpy	kJ/kg	377,	377,
FWH2 drain Enthalpy	kJ/kg	232,7	232,7
FWH2 entalpia saida condensados			2660,
FWH3 heating steam Enthalpy	kJ/kg	2788,	2788,
FWH3 feedwater inlet Enthalpy	kJ/kg	360,2	360,2
FWH3 feedwater exit Enthalpy	kJ/kg	508,8	508,8
FWH3 drain Enthalpy	kJ/kg	515,1	515,1
FWH4 heating steam Enthalpy	kJ/kg	2933,	2933,
FWH4 feedwater inlet Enthalpy	kJ/kg	508,8	508,8
FWH4 feedwater exit Enthalpy	kJ/kg	633,6	633,6
FWH4 drain Enthalpy	kJ/kg	529,4	529,4
FWH4 entalpia saida condensados			638,
FWH5 heating steam Enthalpy	kJ/kg	3125	3125
FWH5 feedwater inlet Enthalpy	kJ/kg	628,5	628,5
FWH6 drain Enthalpy	kJ/kg	848,3	848,3
FWH5 drain Enthalpy	kJ/kg	784,3	784,3
FWH6 heating steam Enthalpy	kJ/kg	3356	3356
FWH7 drain Enthalpy	kJ/kg	996,6	996,6
FWH6 feedwater inlet Enthalpy	kJ/kg	808,8	808,8
FWH6 feedwater exit Enthalpy	kJ/kg	987,3	987,3

FWH6 drain Enthalpy	kJ/kg	848,3	848,3
FWH6 condensado (saturação)			2800,
FWH7 heating steam Enthalpy	kJ/kg	3074	3074
FWH7 feedwater inlet Enthalpy	kJ/kg	987,3	987,3
FWH7 feedwater exit Enthalpy	kJ/kg	1117,	1117,
FWH7 drain Enthalpy	kJ/kg	996,6	996,6
FWH7 entalpia saída condensados			1130,
Condenser inlet steam Entropy	kJ/kg-C	7,403	7,403
Condenser CW inlet Entropy	kJ/kg-C	0	0
Condenser CW exit Entropy	kJ/kg-C	0	0
CW leaving cooling system Entropy	kJ/kg-C	0	0
CW after circulation pump Entropy	kJ/kg-C	0	0
GSC inlet steam Entropy	kJ/kg-C	8,311	8,311
GSC outlet condensate Entropy			1,24
GSC water inlet Entropy			0,522
Condenser condensate exit Entropy	kJ/kg-C	0,5124	0,5124
FWH1 heating steam Entropy	kJ/kg-C	7,458	7,458
FWH1 feedwater inlet Entropy	kJ/kg-C	0,5309	0,5309
FWH1 feedwater exit Entropy	kJ/kg-C	0,71	0,71
FWH1 drain Entropy	kJ/kg-C	0,7256	0,7256
FWH2 heating steam Entropy	kJ/kg-C	7,338	7,338
FWH3 drain Entropy	kJ/kg-C	1,556	1,556
FWH2 feedwater inlet Entropy	kJ/kg-C	0,7104	0,7104
FWH2 feedwater exit Entropy	kJ/kg-C	1,188	1,188
FWH2 drain Entropy	kJ/kg-C	0,7753	0,7753
FWH2 entropia saída condensados			7,45
FWH3 heating steam Entropy	kJ/kg-C	7,29	7,29
FWH3 feedwater inlet Entropy	kJ/kg-C	1,142	1,142
FWH3 feedwater exit Entropy	kJ/kg-C	1,537	1,537
FWH3 drain Entropy	kJ/kg-C	1,556	1,556
FWH4 heating steam Entropy	kJ/kg-C	7,224	7,224
FWH4 feedwater inlet Entropy	kJ/kg-C	1,537	1,537
FWH4 feedwater exit Entropy	kJ/kg-C	1,843	1,843
FWH4 drain Entropy	kJ/kg-C	1,592	1,592
FWH5 heating steam Entropy	kJ/kg-C	7,198	7,198
FWH5 feedwater inlet Entropy	kJ/kg-C	1,831	1,831
FWH6 drain Entropy	kJ/kg-C	2,319	2,319
FWH5 drain Entropy	kJ/kg-C	2,186	2,186
FWH6 heating steam Entropy	kJ/kg-C	7,156	7,156
FWH7 drain Entropy	kJ/kg-C	2,618	2,618
FWH6 feedwater inlet Entropy	kJ/kg-C	2,199	2,199
FWH6 feedwater exit Entropy	kJ/kg-C	2,569	2,569
FWH6 drain Entropy	kJ/kg-C	2,319	2,319
FWH7 heating steam Entropy	kJ/kg-C	6,487	6,487
FWH7 feedwater inlet Entropy	kJ/kg-C	2,569	2,569
FWH7 feedwater exit Entropy	kJ/kg-C	2,821	2,821
FWH7 drain Entropy	kJ/kg-C	2,618	2,618

Tabela 21 - Resultados importados do *Steam Pro* para o subsistema caldeira.

		Base Case	Case 1
Computation Message ->		Messages	Messages
INPUT VARIABLE DESCRIPTION	Units	Input	Input
Desired ST generator power	MWe	316	314
Ambient pressure	bar	1,011	1,011
Ambient temperature	C	14,6	14,6
Ambient relative humidity	%	77	77
OUTPUT VARIABLE DESCRIPTION	Units	Output	Output
Fuel: Fuel name		Sines Coal	Sines Coal
Fuel: Fuel type		Solid	Solid
Fuel: LHV @ 77F	kJ/kg	26083	26083
Fuel: HHV @ 77F	kJ/kg	27200	27200
Fuel: Fuel supply temperature	C	25	25
Fuel: Total LHV + Sensible heat referenced to 77F	kJ/kg	26083	26083
Fuel: Total fuel enthalpy referenced to 32F	kJ/kg	27255	27255
Fuel: Weight % of C	%	66	66
Fuel: Weight % of H	%	4	4
Fuel: Weight % of O	%	6,35	6,35
Fuel: Weight % of N	%	1,5	1,5
Fuel: Weight % of S	%	1	1
Fuel: Weight % of Ar	%	0	0
Fuel: Weight % of Chlorine	%	0,15	0,15
Fuel: Weight % of Ash	%	11	11
Fuel: Weight % of Moisture	%	10	10
Fuel: Equivalent molecular weight		7,617	7,617
Fuel mass flow	kg/s	30,65	30,41
Total ash flow	kg/s	3,371	3,345
Fly ash flow	kg/s	2,754	2,732
Feedwater into boiler Temperature	C	263,2	262,8
Feedwater into boiler Pressure	bar	176,1	174,6
Feedwater into boiler Mass Flow	kg/s	236,6	234,3
Feedwater into boiler Enthalpy	kJ/kg	1149,2	1147,2
Feedwater into boiler Entropy	kJ/kg-C	2,881	2,878

Boiler blowdown Mass Flow	kg/s	0	0
Boiler blowdown Enthalpy	kJ/kg	1702,	1702,
Boiler blowdown Entropy	kJ/kg-C	3,826	3,826
1st reheater inlet Mass Flow	kg/s	251,6	249,4
1st reheater inlet Pressure	bar	49,17	48,77
1st reheater inlet Temperature	C	351,9	352,1
1st reheater inlet Enthalpy	kJ/kg	3078	3079
1st reheater inlet Entropy	kJ/kg-C	6,473	6,478
Desuperheater 1 Mass Flow	kg/s	7,637	7,613
Desuperheater 2 Mass Flow	kg/s	30,55	30,45
FWH6A feedwater inlet Enthalpy	kJ/kg	811,4	809,8
FWH6A feedwater inlet Entropy	kJ/kg-C	2,202	2,199
1st reheater exit Mass Flow	kg/s	251,6	249,4
1st reheater exit Pressure	bar	46,49	46,11
1st reheater exit Temperature	C	527,4	527,4
1st reheater exit Enthalpy	kJ/kg	3500	3501
1st reheater exit Entropy	kJ/kg-C	7,094	7,098
3rd superheater exit Mass Flow	kg/s	274,8	272,4
3rd superheater exit Pressure	bar	169,8	168,4
3rd superheater exit Temperature	C	527,6	527,6
3rd superheater exit Enthalpy	kJ/kg	3364	3366
3rd superheater exit Entropy	kJ/kg-C	6,366	6,372
Air heater (air side) mass flow (primary air exit, before hot end leak)	kg/s	22,24	22,33
Air heater (air side) inlet temperature (primary air)	C	26,01	26,01
Air heater (air side) exit temperature (primary air)	C	394,2	390,5
Air heater (air side) mass flow (secondary air exit, before hot end leak)	kg/s	275,6	273,3
Air heater (air side) inlet temperature (secondary air)	C	17,5	17,47
Air heater (air side) exit temperature (secondary air)	C	323,9	323,11
Air heater (gas side) mass flow (fly ash)	kg/s	2,754	2,732
Air heater (gas side) inlet temperature (after hot end leak)	C	409,3	408,
Air heater (gas side) exit temperature (before cold end leak)	C	167,5	166,9
Air heater (air side) pressure drop (primary air)	millibar	3,517	3,524
Air heater (air side) pressure drop (secondary air)	millibar	6,765	6,657
pressão ar primário	bar		1,029
pressão ar secundário	bar		1,142
cp ar primário T=154.82			1,03
cp ar primário T=151.81			1,02

Tabela 22 - Resultados importados do *Steam Pro* para o subsistema sistemas auxiliares.

		Base Case	Case 1
Computation Message ->		Messages	Messages
INPUT VARIABLE DESCRIPTION	Units	Input	Input
Desired HPT inlet steam flow rate	kg/s	274,8	272,8
Desired ST generator power	MWe	316	314
Ambient pressure	bar	1,011	1,011
Ambient temperature	C	14,6	14,6
Site cooling water temperature	C	16,9	16,9
OUTPUT VARIABLE DESCRIPTION	Units	Output	Output
FPT: Power	kW	8291	8170
FPT: Speed	rpm	3600	3600
FPT: Efficiency	%	80,21	80,
FPT inlet before valve Mass Flow	kg/s	12,01	11,83
FPT inlet before valve Pressure	bar	11,1	11,1
FPT inlet before valve Temperature	C	334,	334,1
FPT inlet before valve Enthalpy	kJ/kg	3122	3122
FPT inlet before valve Entropy	kJ/kg-C	7,196	7,197
FPT 1st group inlet Pressure	bar	10,36	10,21
FPT 1st group inlet Enthalpy	kJ/kg	3122	3122
FPT 1st group inlet Entropy	kJ/kg-C	7,227	7,235
FPT exhaust Mass Flow	kg/s	12,01	11,83
FPT exhaust Pressure	bar	0,0863	0,0845
FPT exhaust Temperature	C	42,97	42,59
FPT exhaust Enthalpy	kJ/kg	2431,8	2431,6
FPT exhaust Entropy	kJ/kg-C	7,735	7,743
FPT condenser condensate exit Mass Flow	kg/s	12,01	11,83
FPT condenser condensate exit Pressure	bar	0,4452	0,4435
FPT condenser condensate exit Temperature	C	42,96	42,58
FPT condenser condensate exit Enthalpy	kJ/kg	179,9	178,3
FPT condenser condensate exit Entropy	kJ/kg-C	0,6115	0,6064
FPT condenser CW inlet Mass Flow	kg/s	498,7	498,7
FPT condenser CW inlet Pressure	bar	1,934	1,934
FPT condenser CW inlet Temperature	C	16,91	16,91
FPT condenser CW inlet Entropy	kJ/kg-C	0	0
FPT condenser CW exit Mass Flow	kg/s	498,7	498,7
FPT condenser CW exit Pressure	bar	1,465	1,465
FPT condenser CW exit Temperature	C	30,52	30,32

FPT condenser CW exit Enthalpy	kJ/kg	121,6	120,8
FPT condenser CW exit Entropy	kJ/kg-C	0	0
FW into boiler feed pump Mass Flow	kg/s	274,8	272,8
FW into boiler feed pump Pressure	bar	20,92	20,88
FW into boiler feed pump Temperature	C	185,2	184,9
FW into boiler feed pump Enthalpy	kJ/kg	786,5	785,3
FW into boiler feed pump Entropy	kJ/kg-C	2,188	2,185
FW after boiler feed pump Mass Flow	kg/s	274,8	272,8
FW after boiler feed pump Pressure	bar	184,3	183,
FW after boiler feed pump Temperature	C	189,	188,7
FW after boiler feed pump Enthalpy	kJ/kg	811,4	810,
FW after boiler feed pump Entropy	kJ/kg-C	2,202	2,199
FW into condensate pump Mass Flow	kg/s	189,4	188,2
FW into condensate pump Pressure	bar	0,3453	0,3451
FW into condensate pump Temperature	C	32,22	32,12
FW into condensate pump Enthalpy	kJ/kg	135,	134,5
FW into condensate pump Entropy	kJ/kg-C	0,467	0,4655
FW after condensate pump Mass Flow	kg/s	189,4	188,2
FW after condensate pump Pressure	bar	16,76	16,66
FW after condensate pump Temperature	C	32,52	32,42
FW after condensate pump Enthalpy	kJ/kg	137,7	137,3
FW after condensate pump Entropy	kJ/kg-C	0,4706	0,4692
FW before booster pump Mass Flow	kg/s	274,8	272,8
FW before booster pump Pressure	bar	13,49	13,43
FW before booster pump Temperature	C	185,	184,8
FW before booster pump Enthalpy	kJ/kg	785,5	784,3
FW before booster pump Entropy	kJ/kg-C	2,187	2,185
FW after booster pump Mass Flow	kg/s	274,8	272,8
FW after booster pump Pressure	bar	20,92	20,88
FW after booster pump Temperature	C	185,2	184,9
FW after booster pump Enthalpy	kJ/kg	786,5	785,3
FW after booster pump Entropy	kJ/kg-C	2,188	2,185
Boiler Feed Booster Pump: Electricity consumption per station	kW	298,1	297,5
Condensate Forwarding Pump: Electricity consumption per station	kW	555,4	554,4

Tabela 23 - Resultados obtidos utilizados para a construção da curva de irreversibilidade do sistema de admissão HPT.

Tempo	Potência Bruta [MW]	Pressão Admissão [bar]	Temperatura Admissão [°C]	Entalpia Admissão [kJ/kg]	Entropia Admissão [kJ/kgK]	Pressão Extração [bar]	Entropia Extração [kJ/kgK]	Caudal de Vapor [t/hr]	Irreversibilidade [kW]
12:30:01	-0,487	133,9	513,9	3369,539	6,471	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:30:11	-0,480	133,9	513,9	3369,539	6,471	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:30:21	-0,473	133,9	513,9	3369,539	6,471	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:30:31	-0,466	133,9	513,9	3369,539	6,471	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:30:41	-0,459	133,9	513,9	3369,539	6,471	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:30:51	-0,451	133,4	513,9	3370,215	6,473	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:31:01	-0,444	133,4	513,9	3370,215	6,473	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:31:11	-0,437	133,4	513,9	3370,215	6,473	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:31:21	-0,430	133,4	513,9	3370,215	6,473	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:31:31	-0,435	133,4	513,5	3369,198	6,472	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:31:41	-0,449	133,4	513,5	3369,198	6,472	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:31:51	-0,464	133,2	513,5	3369,448	6,473	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:32:01	-0,478	133,0	513,5	3369,699	6,474	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:32:11	-0,492	133,0	513,3	3369,014	6,473	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:32:21	-0,507	133,0	513,3	3369,014	6,473	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:32:31	-0,505	133,0	513,3	3369,014	6,473	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:32:41	-0,490	133,0	513,3	3369,014	6,473	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:32:51	-0,476	133,0	513,3	3369,014	6,473	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:33:01	-0,462	133,0	513,3	3369,014	6,473	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:33:11	-0,447	133,0	513,3	3369,014	6,473	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:33:21	-0,433	133,0	513,3	3369,014	6,473	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:33:31	-0,429	133,0	513,3	3369,014	6,473	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:33:41	-0,433	133,0	513,3	3369,014	6,473	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:33:51	-0,437	133,2	513,3	3368,763	6,472	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:34:01	-0,440	133,2	513,3	3368,763	6,472	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:34:11	-0,444	133,2	513,3	3368,763	6,472	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:34:21	-0,447	133,2	513,3	3368,763	6,472	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:34:31	-0,451	133,2	513,0	3367,951	6,471	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:34:41	-0,454	133,2	513,0	3367,951	6,471	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:34:51	-0,458	133,0	513,0	3368,218	6,472	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:35:01	-0,462	133,0	513,0	3368,218	6,472	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:35:11	-0,465	133,0	513,0	3368,218	6,472	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:35:21	-0,469	133,0	513,0	3368,218	6,472	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:35:31	-0,472	133,0	513,0	3368,218	6,472	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:35:41	-0,476	133,0	513,0	3368,218	6,472	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:35:51	-0,479	133,0	513,0	3368,218	6,472	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:36:01	-0,483	133,0	513,0	3368,218	6,472	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:36:11	-0,486	133,0	513,0	3368,218	6,472	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:36:21	-0,490	133,0	512,7	3367,531	6,471	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:36:31	-0,494	132,8	512,7	3367,775	6,472	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:36:41	-0,497	132,8	512,4	3367,070	6,471	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:36:51	-0,501	132,4	512,4	3367,452	6,473	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:37:01	-0,504	132,4	512,4	3367,452	6,473	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:37:11	-0,508	132,4	512,4	3367,452	6,473	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:37:21	-0,511	132,4	512,4	3367,452	6,473	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:37:31	-0,508	132,4	512,4	3367,452	6,473	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:37:41	-0,501	132,4	512,4	3367,452	6,473	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:37:51	-0,494	132,4	512,4	3367,452	6,473	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:38:01	-0,487	131,8	512,4	3368,237	6,476	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:38:11	-0,480	131,8	512,4	3368,237	6,476	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:38:21	-0,472	131,8	512,4	3368,237	6,476	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:38:31	-0,465	131,8	512,4	3368,237	6,476	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:38:41	-0,458	131,2	512,2	3368,159	6,477	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:38:51	-0,451	131,2	512,2	3368,159	6,477	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:39:01	-0,444	131,0	512,2	3368,503	6,479	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:39:11	-0,437	130,7	512,2	3368,845	6,480	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:39:21	-0,430	130,7	511,8	3368,006	6,479	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:39:31	-0,430	130,4	511,8	3368,334	6,480	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:39:41	-0,435	130,1	511,8	3368,655	6,481	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:39:51	-0,440	130,1	511,8	3368,655	6,481	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:40:01	-0,445	129,9	511,8	3368,998	6,483	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:40:11	-0,449	129,6	511,8	3369,340	6,484	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:40:21	-0,454	129,6	511,8	3369,340	6,484	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:40:31	-0,459	129,3	511,8	3369,660	6,485	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:40:41	-0,464	129,0	511,5	3369,111	6,485	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!

Modelação Computacional da Central de Termoeletrica de Sines

12:40:51	-0,469	129,0	511,5	3369,111	6,485	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:41:01	-0,473	128,8	511,5	3369,439	6,487	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:41:11	-0,478	128,5	511,5	3369,766	6,488	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:41:21	-0,483	128,5	511,5	3369,766	6,488	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:41:31	-0,488	128,2	511,5	3370,086	6,489	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:41:41	-0,492	128,0	511,5	3370,429	6,491	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:41:51	-0,497	128,0	511,2	3369,602	6,490	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:42:01	-0,502	128,0	511,2	3369,602	6,490	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:42:11	-0,507	127,7	511,2	3369,929	6,491	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:42:21	-0,511	127,4	511,2	3370,249	6,492	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:42:31	-0,509	127,4	511,2	3370,249	6,492	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:42:41	-0,505	127,2	511,2	3370,569	6,493	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:42:51	-0,500	126,9	510,8	3369,961	6,494	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:43:01	-0,495	126,9	510,8	3369,961	6,494	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:43:11	-0,490	126,6	510,8	3370,289	6,495	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:43:21	-0,486	126,3	510,8	3370,616	6,496	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:43:31	-0,481	126,3	510,8	3370,616	6,496	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:43:41	-0,476	126,1	510,8	3370,959	6,497	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:43:51	-0,472	126,1	510,6	3370,292	6,497	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:44:01	-0,467	125,8	510,6	3370,635	6,498	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:44:11	-0,462	125,8	510,6	3370,635	6,498	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:44:21	-0,457	125,8	510,6	3370,635	6,498	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:44:31	-0,453	125,5	510,6	3370,978	6,499	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:44:41	-0,448	125,5	510,6	3370,978	6,499	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:44:51	-0,443	125,2	510,3	3370,602	6,500	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:45:01	-0,439	125,2	510,3	3370,602	6,500	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:45:11	-0,434	125,2	510,3	3370,602	6,500	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:45:21	-0,429	125,0	510,3	3370,907	6,501	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:45:31	-0,430	125,0	510,3	3370,907	6,501	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:45:41	-0,435	125,0	510,3	3370,907	6,501	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:45:51	-0,440	125,0	510,3	3370,907	6,501	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:46:01	-0,444	125,0	510,3	3370,907	6,501	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:46:11	-0,449	125,0	510,3	3370,907	6,501	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:46:21	-0,454	125,0	510,3	3370,907	6,501	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:46:31	-0,459	125,0	510,3	3370,907	6,501	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:46:41	-0,463	125,0	510,3	3370,907	6,501	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:46:51	-0,468	125,0	510,0	3370,142	6,500	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:47:01	-0,473	125,0	510,0	3370,142	6,500	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:47:11	-0,477	124,7	510,0	3370,470	6,501	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:47:21	-0,482	124,7	510,0	3370,470	6,501	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:47:31	-0,487	124,5	510,0	3370,752	6,502	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:47:41	-0,492	124,5	510,0	3370,752	6,502	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:47:51	-0,496	124,2	510,0	3371,072	6,504	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:48:01	-0,501	124,2	510,0	3371,072	6,504	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:48:11	-0,506	124,2	510,0	3371,072	6,504	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:48:21	-0,511	124,2	510,0	3371,072	6,504	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:48:31	-0,509	123,9	510,0	3371,453	6,505	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:48:41	-0,501	123,6	510,0	3371,781	6,507	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:48:51	-0,494	123,6	509,7	3370,780	6,505	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:49:01	-0,487	123,6	509,7	3370,780	6,505	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:49:11	-0,480	123,4	509,7	3371,123	6,507	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:49:21	-0,473	123,1	509,7	3371,443	6,508	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:49:31	-0,466	123,1	509,7	3371,443	6,508	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:49:41	-0,458	122,8	509,7	3371,771	6,509	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:49:51	-0,451	122,6	509,7	3372,098	6,511	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:50:01	-0,444	122,6	509,7	3372,098	6,511	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:50:11	-0,437	122,6	509,7	3372,098	6,511	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:50:21	-0,430	122,3	509,4	3371,706	6,511	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:50:31	-0,436	122,0	509,4	3372,026	6,512	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:50:41	-0,450	122,0	509,4	3372,026	6,512	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:50:51	-0,464	121,8	509,4	3372,353	6,514	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:51:01	-0,478	121,8	509,4	3372,353	6,514	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:51:11	-0,492	121,5	509,4	3372,696	6,515	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:51:21	-0,506	121,5	509,4	3372,696	6,515	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:51:31	-0,505	121,2	509,4	3373,015	6,516	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:51:41	-0,490	121,0	509,4	3373,342	6,518	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:51:51	-0,476	121,0	509,0	3372,354	6,517	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:52:01	-0,461	120,7	509,0	3372,659	6,518	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:52:11	-0,447	120,7	509,0	3372,659	6,518	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:52:21	-0,432	120,4	509,0	3372,979	6,519	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:52:31	-0,437	120,4	509,0	3372,979	6,519	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:52:41	-0,451	120,2	509,0	3373,306	6,520	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:52:51	-0,466	120,2	509,0	3373,306	6,520	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:53:01	-0,480	120,2	509,0	3373,306	6,520	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:53:11	-0,494	119,9	509,0	3373,633	6,522	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:53:21	-0,508	119,9	508,7	3372,694	6,521	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:53:31	-0,508	119,9	508,7	3372,694	6,521	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:53:41	-0,501	119,9	508,7	3372,694	6,521	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!

Modelação Computacional da Central de Termoelétrica de Sines

12:53:51	-0,494	119,9	508,7	3372,694	6,521	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:54:01	-0,486	119,9	508,7	3372,694	6,521	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:54:11	-0,479	119,6	508,7	3373,036	6,522	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:54:21	-0,472	119,4	508,7	3373,303	6,523	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:54:31	-0,465	119,4	508,7	3373,303	6,523	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:54:41	-0,458	119,1	508,4	3372,810	6,523	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:54:51	-0,451	119,1	508,4	3372,810	6,523	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:55:01	-0,444	118,8	508,4	3373,191	6,525	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:55:11	-0,437	118,8	508,4	3373,191	6,525	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:55:21	-0,430	118,6	508,4	3373,518	6,526	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:55:31	-0,437	118,3	508,4	3373,838	6,528	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:55:41	-0,451	118,3	508,4	3373,838	6,528	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:55:51	-0,465	118,0	508,4	3374,180	6,529	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:56:01	-0,479	117,8	508,4	3374,507	6,530	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:56:11	-0,494	117,8	508,4	3374,507	6,530	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:56:21	-0,508	117,8	508,4	3374,507	6,530	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:56:31	-0,503	117,5	508,4	3374,849	6,532	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:56:41	-0,489	117,2	508,1	3374,464	6,532	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:56:51	-0,474	117,2	508,1	3374,464	6,532	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:57:01	-0,460	116,9	508,1	3374,806	6,534	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:57:11	-0,446	116,7	507,7	3374,152	6,534	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:57:21	-0,432	116,7	507,7	3374,152	6,534	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:57:31	-0,437	116,7	507,7	3374,152	6,534	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:57:41	-0,452	116,4	507,7	3374,471	6,535	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:57:51	-0,466	116,1	507,7	3374,791	6,537	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:58:01	-0,480	116,1	507,7	3374,791	6,537	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:58:11	-0,495	116,1	507,7	3374,791	6,537	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:58:21	-0,509	116,1	507,7	3374,791	6,537	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:58:31	-0,508	116,1	507,7	3374,791	6,537	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:58:41	-0,501	116,1	507,5	3374,106	6,536	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:58:51	-0,493	116,1	507,5	3374,106	6,536	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:59:01	-0,486	116,1	507,5	3374,106	6,536	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:59:11	-0,479	116,1	507,5	3374,106	6,536	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:59:21	-0,472	116,1	507,5	3374,106	6,536	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:59:31	-0,465	116,1	507,5	3374,106	6,536	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:59:41	-0,458	115,9	507,5	3374,433	6,537	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
12:59:51	-0,451	115,6	507,5	3374,760	6,539	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:00:01	-0,444	115,6	507,5	3374,760	6,539	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:00:11	-0,437	115,3	507,5	3375,080	6,540	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:00:21	-0,430	115,1	507,5	3375,399	6,541	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:00:31	-0,430	115,1	507,5	3375,399	6,541	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:00:41	-0,435	114,8	507,5	3375,726	6,543	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:00:51	-0,439	114,5	507,5	3376,068	6,544	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:01:01	-0,444	114,5	507,5	3376,068	6,544	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:01:11	-0,449	114,5	507,1	3375,261	6,543	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:01:21	-0,454	114,0	507,1	3375,922	6,546	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:01:31	-0,458	114,0	506,9	3375,242	6,545	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:01:41	-0,463	113,7	506,9	3375,569	6,547	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:01:51	-0,468	113,7	506,9	3375,569	6,547	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:02:01	-0,473	113,4	506,9	3375,911	6,548	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:02:11	-0,477	113,4	506,9	3375,911	6,548	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:02:21	-0,482	113,2	506,9	3376,230	6,549	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:02:31	-0,487	112,9	506,9	3376,557	6,551	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:02:41	-0,492	112,9	506,9	3376,557	6,551	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:02:51	-0,496	112,6	506,9	3376,884	6,552	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:03:01	-0,501	112,4	506,9	3377,202	6,554	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:03:11	-0,506	112,4	506,9	3377,202	6,554	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:03:21	-0,511	112,1	506,9	3377,521	6,555	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:03:31	-0,505	111,8	506,6	3377,112	6,555	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:03:41	-0,490	111,8	506,6	3377,112	6,555	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:03:51	-0,476	111,6	506,6	3377,438	6,557	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:04:01	-0,462	111,6	506,3	3376,579	6,556	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:04:11	-0,448	111,3	506,3	3376,898	6,557	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:04:21	-0,433	111,3	506,3	3376,898	6,557	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:04:31	-0,428	111,0	506,3	3377,240	6,559	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:04:41	-0,430	111,0	506,3	3377,240	6,559	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:04:51	-0,431	110,7	506,3	3377,567	6,560	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:05:01	-0,433	110,7	506,3	3377,567	6,560	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:05:11	-0,434	110,7	506,3	3377,567	6,560	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:05:21	-0,436	110,5	506,3	3377,885	6,562	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:05:31	-0,438	110,2	506,3	3378,204	6,563	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:05:41	-0,439	110,2	506,3	3378,204	6,563	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:05:51	-0,441	110,2	506,3	3378,204	6,563	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:06:01	-0,442	110,0	506,3	3378,530	6,564	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:06:11	-0,444	110,0	506,3	3378,530	6,564	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:06:21	-0,446	110,0	506,3	3378,530	6,564	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:06:31	-0,447	109,7	506,0	3378,053	6,565	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:06:41	-0,449	109,7	506,0	3378,053	6,565	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!

Modelação Computacional da Central de Termoeletrica de Sines

13:06:51	-0,450	109,7	506,0	3378,053	6,565	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:07:01	-0,452	109,7	506,0	3378,053	6,565	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:07:11	-0,454	109,5	506,0	3378,334	6,566	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:07:21	-0,455	109,5	506,0	3378,334	6,566	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:07:31	-0,457	109,2	506,0	3378,675	6,568	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:07:41	-0,458	109,2	506,0	3378,675	6,568	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:07:51	-0,460	109,2	506,0	3378,675	6,568	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:08:01	-0,461	109,2	505,6	3377,774	6,566	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:08:11	-0,463	108,9	505,6	3378,138	6,568	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:08:21	-0,465	108,9	505,6	3378,138	6,568	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:08:31	-0,466	108,6	505,6	3378,465	6,569	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:08:41	-0,468	108,6	505,6	3378,465	6,569	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:08:51	-0,469	108,6	505,6	3378,465	6,569	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:09:01	-0,471	108,6	505,6	3378,465	6,569	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:09:11	-0,473	108,4	505,6	3378,783	6,571	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:09:21	-0,474	108,4	505,6	3378,783	6,571	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:09:31	-0,476	108,4	505,6	3378,783	6,571	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:09:41	-0,477	108,4	505,3	3377,951	6,570	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:09:51	-0,479	108,4	505,3	3377,951	6,570	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:10:01	-0,480	108,4	505,3	3377,951	6,570	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:10:11	-0,482	108,4	505,3	3377,951	6,570	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:10:21	-0,484	108,4	505,3	3377,951	6,570	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:10:31	-0,485	108,4	505,3	3377,951	6,570	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:10:41	-0,487	108,1	505,3	3378,255	6,571	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:10:51	-0,488	108,1	505,3	3378,255	6,571	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:11:01	-0,490	108,1	505,3	3378,255	6,571	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:11:11	-0,492	108,1	505,3	3378,255	6,571	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:11:21	-0,493	108,1	505,3	3378,255	6,571	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:11:31	-0,495	108,1	505,3	3378,255	6,571	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:11:41	-0,496	107,8	505,3	3378,581	6,573	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:11:51	-0,498	107,6	505,3	3378,862	6,574	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:12:01	-0,499	107,6	505,0	3378,046	6,573	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:12:11	-0,501	107,6	505,0	3378,046	6,573	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:12:21	-0,503	107,6	505,0	3378,046	6,573	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:12:31	-0,504	107,3	505,0	3378,365	6,574	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:12:41	-0,506	107,3	505,0	3378,365	6,574	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:12:51	-0,507	107,0	505,0	3378,745	6,576	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:13:01	-0,509	107,0	505,0	3378,745	6,576	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:13:11	-0,511	107,0	505,0	3378,745	6,576	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:13:21	-0,512	107,0	505,0	3378,745	6,576	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:13:31	-0,508	106,8	505,0	3379,071	6,578	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:13:41	-0,501	106,5	504,6	3378,358	6,578	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:13:51	-0,494	106,5	504,6	3378,358	6,578	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:14:01	-0,487	106,2	504,6	3378,662	6,579	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:14:11	-0,480	106,2	504,6	3378,662	6,579	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:14:21	-0,473	106,0	504,6	3379,004	6,581	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:14:31	-0,466	106,0	504,6	3379,004	6,581	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:14:41	-0,459	105,7	504,6	3379,322	6,582	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:14:51	-0,452	105,7	504,6	3379,322	6,582	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:15:01	-0,445	105,4	504,3	3378,884	6,583	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:15:11	-0,437	105,4	504,3	3378,884	6,583	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:15:21	-0,430	105,2	504,3	3379,211	6,584	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:15:31	-0,431	105,2	504,3	3379,211	6,584	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:15:41	-0,438	104,9	504,3	3379,529	6,586	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:15:51	-0,446	104,6	504,3	3379,833	6,587	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:16:01	-0,453	104,6	504,3	3379,833	6,587	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:16:11	-0,460	104,4	504,0	3379,377	6,587	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:16:21	-0,467	104,4	504,0	3379,377	6,587	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:16:31	-0,474	104,4	504,0	3379,377	6,587	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:16:41	-0,481	104,4	504,0	3379,377	6,587	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:16:51	-0,488	104,1	504,0	3379,696	6,589	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:17:01	-0,496	103,6	504,0	3380,341	6,592	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:17:11	-0,503	103,3	504,0	3380,667	6,593	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:17:21	-0,510	103,3	504,0	3380,667	6,593	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:17:31	-0,504	103,3	504,0	3380,667	6,593	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:17:41	-0,490	103,3	504,0	3380,667	6,593	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:17:51	-0,475	103,3	504,0	3380,667	6,593	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:18:01	-0,461	103,3	503,6	3379,848	6,592	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:18:11	-0,447	103,3	503,6	3379,848	6,592	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:18:21	-0,433	103,0	503,6	3380,167	6,594	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:18:31	-0,432	102,8	503,6	3380,485	6,595	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:18:41	-0,439	102,5	503,6	3380,811	6,597	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:18:51	-0,446	102,5	503,6	3380,811	6,597	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:19:01	-0,453	102,5	503,6	3380,811	6,597	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:19:11	-0,460	102,2	503,3	3380,281	6,597	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:19:21	-0,467	102,2	503,3	3380,281	6,597	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:19:31	-0,474	102,2	503,3	3380,281	6,597	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:19:41	-0,482	102,0	503,3	3380,600	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!

Modelação Computacional da Central de Termoelétrica de Sines

13:19:51	-0,489	102,0	503,3	3380,600	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:20:01	-0,496	102,0	503,3	3380,600	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:20:11	-0,503	102,0	503,3	3380,600	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:20:21	-0,510	102,0	503,3	3380,600	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:20:31	-0,504	102,0	503,3	3380,600	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:20:41	-0,489	102,0	503,3	3380,600	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:20:51	-0,475	102,0	503,3	3380,600	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:21:01	-0,460	102,0	503,3	3380,600	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:21:11	-0,446	102,0	503,3	3380,600	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:21:21	-0,432	102,0	503,3	3380,600	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:21:31	-0,430	102,0	503,3	3380,600	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:21:41	-0,433	102,0	503,0	3379,828	6,598	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:21:51	-0,437	101,7	503,0	3380,155	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:22:01	-0,440	101,7	503,0	3380,155	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:22:11	-0,444	101,7	503,0	3380,155	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:22:21	-0,448	101,7	503,0	3380,155	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:22:31	-0,451	101,7	502,7	3379,425	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:22:41	-0,455	101,7	502,7	3379,425	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:22:51	-0,458	101,7	502,7	3379,425	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:23:01	-0,462	101,7	502,7	3379,425	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:23:11	-0,465	101,7	502,7	3379,425	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:23:21	-0,469	101,7	502,7	3379,425	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:23:31	-0,472	101,7	502,7	3379,425	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:23:41	-0,476	101,7	502,7	3379,425	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:23:51	-0,480	101,7	502,7	3379,425	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:24:01	-0,483	102,0	502,7	3379,098	6,597	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:24:11	-0,487	102,0	502,7	3379,098	6,597	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:24:21	-0,490	102,0	502,7	3379,098	6,597	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:24:31	-0,494	102,0	502,7	3379,098	6,597	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:24:41	-0,497	102,0	502,7	3379,098	6,597	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:24:51	-0,501	102,0	502,7	3379,098	6,597	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:25:01	-0,505	102,0	502,7	3379,098	6,597	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:25:11	-0,508	102,0	502,7	3379,098	6,597	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:25:21	-0,512	102,2	502,7	3378,779	6,595	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:25:31	-0,503	102,5	502,7	3378,436	6,594	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:25:41	-0,488	102,5	502,7	3378,436	6,594	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:25:51	-0,474	102,5	502,7	3378,436	6,594	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:26:01	-0,460	102,8	502,7	3378,094	6,592	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:26:11	-0,445	102,8	502,7	3378,094	6,592	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:26:21	-0,431	102,8	502,7	3378,094	6,592	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:26:31	-0,426	102,8	502,4	3377,333	6,591	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:26:41	-0,425	102,8	502,1	3376,598	6,590	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:26:51	-0,423	102,8	502,1	3376,598	6,590	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:27:01	-0,422	102,8	502,1	3376,598	6,590	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:27:11	-0,421	102,8	502,1	3376,598	6,590	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:27:21	-0,419	102,8	502,1	3376,598	6,590	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:27:31	-0,418	102,8	502,1	3376,598	6,590	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:27:41	-0,416	102,8	502,1	3376,598	6,590	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:27:51	-0,415	102,8	502,1	3376,598	6,590	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:28:01	-0,413	102,8	502,1	3376,598	6,590	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:28:11	-0,412	102,8	502,1	3376,598	6,590	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:28:21	-0,411	102,8	502,1	3376,598	6,590	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:28:31	-0,409	102,5	502,1	3376,918	6,592	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:28:41	-0,408	102,5	502,1	3376,918	6,592	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:28:51	-0,406	102,5	502,1	3376,918	6,592	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:29:01	-0,405	102,5	502,1	3376,918	6,592	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:29:11	-0,403	102,5	502,1	3376,918	6,592	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:29:21	-0,402	102,5	502,1	3376,918	6,592	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:29:31	-0,401	102,5	501,8	3376,075	6,591	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:29:41	-0,399	102,5	501,5	3375,424	6,590	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:29:51	-0,398	102,5	501,5	3375,424	6,590	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:30:01	-0,396	102,5	501,5	3375,424	6,590	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:30:11	-0,395	102,5	501,5	3375,424	6,590	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:30:21	-0,393	102,5	501,5	3375,424	6,590	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:30:31	-0,392	102,5	501,5	3375,424	6,590	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:30:41	-0,391	102,5	501,5	3375,424	6,590	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:30:51	-0,389	102,5	501,5	3375,424	6,590	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:31:01	-0,388	102,5	501,5	3375,424	6,590	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:31:11	-0,386	102,5	501,5	3375,424	6,590	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:31:21	-0,385	102,5	501,5	3375,424	6,590	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:31:31	-0,384	102,3	501,5	3375,753	6,591	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:31:41	-0,382	102,0	501,5	3376,020	6,593	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:31:51	-0,381	102,0	501,3	3375,379	6,592	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:32:01	-0,379	102,0	501,3	3375,379	6,592	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:32:11	-0,378	102,0	501,3	3375,379	6,592	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:32:21	-0,376	102,0	501,3	3375,379	6,592	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:32:31	-0,375	102,0	501,3	3375,379	6,592	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:32:41	-0,374	101,4	501,3	3376,144	6,595	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!

Modelação Computacional da Central de Termoeletrica de Sines

13:32:51	-0,372	101,2	501,3	3376,473	6,597	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:33:01	-0,371	101,2	501,0	3375,620	6,596	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:33:11	-0,369	100,9	501,0	3375,941	6,597	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:33:21	-0,368	100,9	501,0	3375,941	6,597	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:33:31	-0,366	100,9	501,0	3375,941	6,597	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:33:41	-0,365	100,6	501,0	3376,262	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:33:51	-0,364	100,6	501,0	3376,262	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:34:01	-0,362	100,3	501,0	3376,630	6,601	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:34:11	-0,361	100,3	501,0	3376,630	6,601	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:34:21	-0,359	100,3	501,0	3376,630	6,601	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:34:31	-0,358	100,3	500,4	3375,203	6,599	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:34:41	-0,356	100,3	499,8	3373,608	6,597	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:34:51	-0,355	100,3	498,2	3369,616	6,592	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:35:01	-0,354	100,3	498,2	3369,616	6,592	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:35:11	-0,352	100,3	496,7	3365,664	6,586	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:35:21	-0,351	100,3	495,1	3361,642	6,581	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:35:31	-0,349	100,3	494,3	3359,637	6,579	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:35:41	-0,348	100,3	493,5	3357,651	6,576	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:35:51	-0,347	100,3	492,7	3355,597	6,573	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:36:01	-0,345	100,6	492,0	3353,329	6,569	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:36:11	-0,344	100,6	491,2	3351,365	6,567	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:36:21	-0,342	100,9	489,6	3346,963	6,560	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:36:31	-0,436	100,9	488,9	3345,021	6,557	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:36:41	-0,450	101,1	488,1	3342,734	6,553	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:36:51	-0,465	101,1	488,1	3342,734	6,553	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:37:01	-0,479	101,4	487,3	3340,317	6,549	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:37:11	-0,494	101,4	486,6	3338,345	6,546	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:37:21	-0,508	101,7	486,6	3337,977	6,545	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:37:31	-0,509	101,7	485,0	3333,953	6,539	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:37:41	-0,505	102,0	485,0	3333,598	6,538	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:37:51	-0,500	102,0	485,0	3333,598	6,538	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:38:01	-0,495	102,2	484,2	3331,172	6,533	-0,4	#VALUE!	0,00	#VALUE!
13:38:11	-0,490	102,2	483,5	3329,189	6,531	0,8	8,751	0,00	0
13:38:21	-0,486	102,2	483,5	3329,189	6,531	1,8	8,337	0,00	0
13:38:31	-0,481	102,2	482,7	3327,165	6,528	3,0	8,116	0,00	0
13:38:41	-0,476	102,2	481,9	3325,094	6,525	3,5	8,031	43,25	5212
13:38:51	-0,471	102,2	481,1	3323,000	6,523	3,5	8,028	47,03	5666
13:39:01	-0,467	102,2	479,6	3319,028	6,517	3,8	7,989	47,03	5541
13:39:11	-0,462	102,2	479,6	3319,028	6,517	4,1	7,959	47,03	5425
13:39:21	-0,457	102,5	478,0	3314,614	6,510	4,1	7,952	50,52	5831
13:39:31	-0,452	102,5	476,5	3310,575	6,505	4,3	7,917	50,52	5710
13:39:41	-0,448	102,5	476,5	3310,575	6,505	4,6	7,889	50,52	5598
13:39:51	-0,443	102,5	475,7	3308,525	6,502	4,6	7,886	53,73	5953
13:40:01	-0,438	102,5	474,1	3304,358	6,497	5,1	7,831	53,73	5737
13:40:11	-0,434	102,5	474,1	3304,358	6,497	5,1	7,831	56,77	6062
13:40:21	-0,429	102,8	472,6	3299,913	6,490	5,7	7,779	59,68	6160
13:40:31	-0,432	102,8	472,6	3299,913	6,490	5,7	7,779	59,68	6160
13:40:41	-0,439	102,8	472,6	3299,913	6,490	6,2	7,739	62,38	6238
13:40:51	-0,446	102,8	471,0	3295,851	6,484	6,4	7,714	64,96	6393
13:41:01	-0,453	102,8	471,0	3295,851	6,484	6,7	7,694	64,96	6291
13:41:11	-0,461	103,0	470,3	3293,412	6,480	7,2	7,658	64,96	6125
13:41:21	-0,468	103,0	470,3	3293,412	6,480	7,2	7,658	68,66	6473
13:41:31	-0,475	103,0	469,5	3291,332	6,477	7,7	7,623	68,66	6299
13:41:41	-0,482	103,0	468,7	3289,297	6,474	8,3	7,588	72,23	6440
13:41:51	-0,489	103,0	468,7	3289,297	6,474	8,3	7,588	75,59	6740
13:42:01	-0,496	103,0	468,7	3289,297	6,474	8,8	7,560	75,59	6569
13:42:11	-0,503	103,0	467,9	3287,211	6,471	9,4	7,530	78,81	6679
13:42:21	-0,510	103,0	467,1	3285,132	6,469	9,9	7,502	81,74	6761
13:42:31	-0,511	103,0	467,1	3285,132	6,469	10,2	7,489	81,74	6677
13:42:41	-0,509	103,0	467,1	3285,132	6,469	10,4	7,478	84,62	6838
13:42:51	-0,507	103,0	467,1	3285,132	6,469	11,0	7,454	87,39	6891
13:43:01	-0,505	103,0	467,1	3285,132	6,469	11,6	7,429	92,70	7127
13:43:11	-0,503	103,0	465,6	3281,036	6,463	12,2	7,402	92,70	6964
13:43:21	-0,501	103,0	465,6	3281,036	6,463	12,7	7,382	96,00	7062
13:43:31	-0,499	103,0	465,6	3281,036	6,463	13,3	7,363	99,13	7141
13:43:41	-0,497	103,0	465,6	3281,036	6,463	13,3	7,363	99,13	7141
13:43:51	-0,495	103,0	465,6	3281,036	6,463	13,3	7,363	101,93	7343
13:44:01	-0,493	103,0	465,6	3281,036	6,463	13,5	7,354	101,93	7269
13:44:11	-0,491	103,0	464,9	3279,242	6,461	13,8	7,343	101,93	7195
13:44:21	-0,489	103,0	464,3	3277,643	6,458	13,8	7,340	101,93	7193
13:44:31	-0,487	102,8	464,3	3278,037	6,460	13,8	7,341	101,93	7185
13:44:41	-0,485	102,8	464,3	3278,037	6,460	13,8	7,341	101,93	7185
13:44:51	-0,483	102,5	464,3	3278,403	6,462	13,8	7,341	101,93	7177
13:45:01	-0,481	102,5	464,3	3278,403	6,462	13,8	7,341	101,93	7177
13:45:11	-0,479	102,5	464,3	3278,403	6,462	13,8	7,341	104,98	7392
13:45:21	-0,477	102,5	464,3	3278,403	6,462	13,8	7,341	104,98	7392
13:45:31	-0,475	102,5	463,9	3277,136	6,460	13,8	7,339	104,98	7391
13:45:41	-0,473	102,5	463,9	3277,136	6,460	14,1	7,330	104,98	7314

Modelação Computacional da Central de Termoeletrica de Sines

13:45:51	-0,471	102,5	463,5	3276,054	6,458	14,1	7,329	107,89	7515
13:46:01	-0,469	102,5	463,5	3276,054	6,458	14,3	7,320	107,89	7443
13:46:11	-0,467	102,5	463,5	3276,054	6,458	14,3	7,320	107,89	7443
13:46:21	-0,465	102,3	463,5	3276,440	6,460	14,3	7,321	107,89	7434
13:46:31	-0,463	102,3	463,2	3275,726	6,459	14,3	7,320	110,81	7635
13:46:41	-0,461	102,0	463,2	3276,122	6,461	14,3	7,320	110,81	7626
13:46:51	-0,459	102,0	462,9	3275,450	6,460	14,9	7,303	110,81	7475
13:47:01	-0,456	102,0	462,9	3275,450	6,460	14,9	7,303	113,58	7662
13:47:11	-0,454	102,0	462,9	3275,450	6,460	14,9	7,303	113,58	7662
13:47:21	-0,452	102,0	462,9	3275,450	6,460	14,9	7,303	113,58	7662
13:47:31	-0,450	101,8	462,7	3275,087	6,460	14,9	7,302	113,58	7653
13:47:41	-0,448	101,8	462,7	3275,087	6,460	15,4	7,287	116,31	7692
13:47:51	-0,446	101,5	462,2	3274,072	6,460	15,4	7,285	116,31	7682
13:48:01	-0,444	101,5	462,2	3274,072	6,460	12,4	7,384	106,36	7871
13:48:11	-0,442	101,8	462,2	3273,703	6,458	11,8	7,404	98,74	7477
13:48:21	-0,440	102,3	462,2	3272,916	6,455	9,8	7,486	88,99	7345
13:48:31	-0,438	102,6	462,2	3272,500	6,453	8,3	7,561	80,79	7163
13:48:41	-0,436	102,8	461,8	3271,239	6,451	7,5	7,607	72,02	6665
13:48:51	-0,434	103,1	461,8	3270,839	6,449	7,0	7,640	72,02	6864
13:49:01	-0,432	103,1	461,8	3270,839	6,449	7,0	7,640	69,02	6578
13:49:11	-0,430	103,1	461,8	3270,839	6,449	7,0	7,640	69,02	6578
13:49:21	-0,428	103,1	461,8	3270,839	6,449	7,0	7,640	71,74	6838
13:49:31	-0,436	103,4	461,8	3270,449	6,447	7,2	7,622	71,74	6746
13:49:41	-0,451	103,4	461,8	3270,449	6,447	7,5	7,607	71,74	6658
13:49:51	-0,465	103,6	461,8	3270,077	6,446	7,5	7,606	75,30	6993
13:50:01	-0,480	103,6	461,8	3270,077	6,446	7,8	7,591	75,30	6903
13:50:11	-0,494	103,6	461,8	3270,077	6,446	8,0	7,576	75,30	6809
13:50:21	-0,509	103,6	461,8	3270,077	6,446	8,0	7,576	75,30	6809
13:50:31	-0,507	103,9	461,8	3269,677	6,444	8,0	7,575	75,30	6815
13:50:41	-0,500	103,9	461,8	3269,677	6,444	8,0	7,575	78,83	7134
13:50:51	-0,493	104,1	461,8	3269,351	6,443	8,0	7,575	78,83	7140
13:51:01	-0,486	104,1	461,8	3269,351	6,443	8,0	7,575	78,83	7140
13:51:11	-0,479	104,1	461,8	3269,351	6,443	8,0	7,575	78,83	7140
13:51:21	-0,472	104,4	461,5	3268,004	6,440	8,0	7,573	78,83	7145
13:51:31	-0,465	104,4	461,5	3268,004	6,440	8,0	7,573	75,75	6866
13:51:41	-0,458	104,7	461,1	3266,562	6,437	8,0	7,570	75,75	6873
13:51:51	-0,451	104,7	461,1	3266,562	6,437	8,0	7,570	75,75	6873
13:52:01	-0,443	104,7	461,1	3266,562	6,437	8,0	7,570	75,75	6873
13:52:11	-0,436	104,2	461,1	3267,348	6,440	8,0	7,572	75,75	6861
13:52:21	-0,429	103,9	461,1	3267,750	6,442	8,0	7,572	75,75	6855
13:52:31	-0,422	103,4	461,1	3268,543	6,445	8,0	7,573	75,75	6843
13:52:41	-0,415	103,1	461,1	3268,935	6,446	8,0	7,574	74,07	6685
13:52:51	-0,408	102,8	461,1	3269,355	6,448	8,0	7,575	74,07	6679
13:53:01	-0,401	102,5	461,1	3269,755	6,450	8,0	7,575	74,07	6673
13:53:11	-0,394	102,0	461,1	3270,593	6,453	8,0	7,576	74,07	6660
13:53:21	-0,386	102,0	460,5	3269,036	6,451	8,0	7,574	74,07	6659
13:53:31	-0,379	101,5	460,0	3268,450	6,452	8,0	7,573	74,07	6646
13:53:41	-0,372	101,5	460,0	3268,450	6,452	8,0	7,573	72,09	6468
13:53:51	-0,365	100,9	460,0	3269,235	6,456	8,0	7,574	72,09	6456
13:54:01	-0,358	100,9	460,0	3269,235	6,456	8,0	7,574	72,09	6456
13:54:11	-0,351	100,4	460,0	3270,037	6,459	8,0	7,576	72,09	6444
13:54:21	-0,344	100,4	460,0	3270,037	6,459	8,6	7,545	74,99	6521
13:54:31	-0,210	99,9	459,8	3270,089	6,461	9,2	7,515	82,15	6932
13:54:41	-0,030	99,6	459,8	3270,462	6,463	9,7	7,491	84,87	6983
13:54:51	0,150	99,4	459,8	3270,853	6,464	10,0	7,478	87,39	7092
13:55:01	0,331	98,9	459,3	3270,332	6,466	10,2	7,465	87,39	6991
13:55:11	0,511	98,9	459,3	3270,332	6,466	10,2	7,465	87,39	6991
13:55:21	0,691	98,9	459,3	3270,332	6,466	10,2	7,465	87,39	6991
13:55:31	0,871	98,6	459,3	3270,705	6,467	10,2	7,466	87,39	6984
13:55:41	1,051	98,3	459,3	3271,124	6,469	11,5	7,413	92,80	7009
13:55:51	5,467	97,4	458,8	3271,308	6,473	14,9	7,296	102,22	6734
13:56:01	16,814	96,0	458,5	3272,389	6,481	20,1	7,163	148,00	8085
13:56:11	17,339	95,5	458,5	3273,179	6,484	20,1	7,164	150,82	8212
13:56:21	17,706	95,5	458,5	3273,179	6,484	20,1	7,164	150,82	8212
13:56:31	18,511	94,9	458,1	3273,023	6,486	20,1	7,164	150,82	8183
13:56:41	21,094	94,1	458,1	3274,295	6,492	20,6	7,153	156,53	8291
13:56:51	23,902	93,2	458,1	3275,574	6,497	21,2	7,143	163,00	8427
13:57:01	27,178	92,7	458,1	3276,379	6,501	22,3	7,121	168,76	8374
13:57:11	29,835	92,1	457,3	3275,091	6,502	22,9	7,108	174,21	8453
13:57:21	32,431	91,0	457,3	3276,757	6,509	23,4	7,100	177,66	8403
13:57:31	34,158	90,5	457,3	3277,515	6,512	23,4	7,101	182,75	8610
13:57:41	34,717	90,0	456,8	3277,142	6,514	23,4	7,100	182,75	8574
13:57:51	34,977	89,4	456,8	3277,955	6,518	23,4	7,102	182,75	8537
13:58:01	35,238	89,4	456,8	3277,955	6,518	23,4	7,102	180,15	8416
13:58:11	35,498	88,9	456,8	3278,711	6,521	23,4	7,103	180,15	8382
13:58:21	36,535	88,3	456,6	3278,802	6,524	24,1	7,090	177,59	8046
13:58:31	35,854	87,8	456,6	3279,585	6,528	24,1	7,091	177,59	8010
13:58:41	35,797	87,3	456,6	3280,395	6,532	24,1	7,093	174,68	7843

Modelação Computacional da Central de Termoeletrica de Sines

13:58:51	36,042	87,0	456,6	3280,781	6,533	23,8	7,098	174,68	7895
13:59:01	36,286	86,5	456,6	3281,562	6,537	23,8	7,099	177,31	7978
13:59:11	36,531	86,1	456,6	3282,020	6,539	23,8	7,100	177,31	7957
13:59:21	36,938	85,6	456,6	3282,781	6,543	23,8	7,101	180,04	8044
13:59:31	37,377	85,1	456,6	3283,577	6,547	23,8	7,102	180,04	8006
13:59:41	38,484	84,8	456,6	3284,007	6,549	24,1	7,098	182,64	8029
13:59:51	39,071	84,2	456,6	3284,829	6,552	24,1	7,099	182,64	7989
14:00:01	39,682	83,9	456,6	3285,240	6,554	24,1	7,100	182,64	7968
14:00:11	40,322	83,7	456,6	3285,632	6,556	24,1	7,100	182,64	7949
14:00:21	40,999	83,1	456,6	3286,434	6,560	24,1	7,101	182,64	7909
14:00:31	41,774	82,8	456,6	3286,843	6,562	24,1	7,102	185,72	8022
14:00:41	42,551	82,6	456,8	3287,893	6,565	24,4	7,098	185,72	7925
14:00:51	43,182	82,3	456,8	3288,301	6,567	24,6	7,094	185,72	7831
14:01:01	43,909	82,0	456,8	3288,682	6,569	24,6	7,094	185,72	7811
14:01:11	45,108	81,8	456,8	3289,063	6,571	24,6	7,095	185,72	7791
14:01:21	45,663	81,5	457,3	3290,584	6,574	24,6	7,097	185,72	7774
14:01:31	46,285	81,2	457,3	3290,972	6,576	24,6	7,098	185,72	7753
14:01:41	47,070	81,0	457,6	3292,183	6,579	24,6	7,099	184,64	7689
14:01:51	47,711	80,7	457,6	3292,562	6,581	24,6	7,100	184,64	7669
14:02:01	48,324	80,4	457,6	3292,967	6,583	24,6	7,101	184,64	7647
14:02:11	48,911	80,2	457,6	3293,353	6,585	24,6	7,101	184,64	7627
14:02:21	49,510	80,2	458,0	3294,339	6,586	25,2	7,093	184,64	7486
14:02:31	50,126	79,6	458,0	3295,093	6,590	25,2	7,094	184,64	7446
14:02:41	50,801	79,6	458,4	3296,125	6,592	25,2	7,096	186,22	7510
14:02:51	51,524	79,1	458,4	3296,911	6,596	25,2	7,097	186,22	7467
14:03:01	52,545	79,1	458,4	3296,911	6,596	25,2	7,097	188,36	7553
14:03:11	53,305	78,8	458,4	3297,295	6,598	25,4	7,093	188,36	7462
14:03:21	53,856	78,5	458,4	3297,670	6,600	25,7	7,088	188,36	7370
14:03:31	54,223	78,5	458,4	3297,670	6,600	25,7	7,088	191,00	7473
14:03:41	54,590	78,3	458,4	3298,072	6,602	25,7	7,089	191,00	7450
14:03:51	56,121	78,0	459,2	3300,535	6,606	26,2	7,083	193,54	7384
14:04:01	57,879	78,0	460,1	3302,666	6,609	26,2	7,086	193,54	7386
14:04:11	59,115	77,5	460,1	3303,434	6,613	26,8	7,079	193,54	7210
14:04:21	59,935	77,5	460,1	3303,434	6,613	26,8	7,079	193,54	7210
14:04:31	60,484	77,5	460,1	3303,434	6,613	26,8	7,079	193,54	7210
14:04:41	60,844	77,5	460,1	3303,434	6,613	26,8	7,079	193,54	7210
14:04:51	61,107	77,5	460,9	3305,608	6,616	26,8	7,082	196,27	7314
14:05:01	61,371	77,5	461,8	3307,861	6,619	26,8	7,085	196,27	7316
14:05:11	61,761	77,5	461,8	3307,861	6,619	27,3	7,076	199,23	7286
14:05:21	63,424	77,5	461,8	3307,861	6,619	27,8	7,067	201,98	7242
14:05:31	64,663	77,5	461,8	3307,861	6,619	27,8	7,067	204,54	7334
14:05:41	65,602	77,5	462,6	3309,748	6,622	28,1	7,066	204,54	7270
14:05:51	66,202	77,2	463,4	3312,043	6,627	28,3	7,065	207,21	7277
14:06:01	66,855	76,9	463,4	3312,407	6,629	28,3	7,066	207,21	7253
14:06:11	67,595	76,9	463,4	3312,407	6,629	28,3	7,066	207,21	7253
14:06:21	68,400	76,7	464,2	3314,760	6,633	28,9	7,060	209,81	7176
14:06:31	69,204	76,7	464,9	3316,675	6,636	28,9	7,063	212,37	7265
14:06:41	69,954	76,4	464,9	3317,045	6,638	28,9	7,064	212,37	7240
14:06:51	70,721	76,1	464,9	3317,432	6,640	29,5	7,056	212,37	7067
14:07:01	71,819	75,9	464,9	3317,793	6,642	29,5	7,056	215,29	7139
14:07:11	73,058	75,9	466,5	3321,574	6,647	29,5	7,061	215,29	7143
14:07:21	73,787	75,6	466,5	3321,932	6,649	29,5	7,062	215,29	7117
14:07:31	73,620	76,2	466,5	3321,172	6,645	29,7	7,057	217,99	7190
14:07:41	73,562	76,2	467,3	3323,144	6,647	30,0	7,056	220,69	7215
14:07:51	74,041	76,2	468,0	3325,041	6,650	30,2	7,055	220,69	7147
14:08:01	75,144	76,2	468,0	3325,041	6,650	30,6	7,050	223,84	7168
14:08:11	77,544	76,2	468,0	3325,041	6,650	30,8	7,046	226,35	7177
14:08:21	79,458	76,2	468,8	3326,919	6,652	30,8	7,049	226,35	7179
14:08:31	80,340	76,2	469,5	3328,786	6,655	30,8	7,051	226,35	7180
14:08:41	80,073	76,2	469,5	3328,786	6,655	30,8	7,051	223,76	7098
14:08:51	79,806	76,2	470,3	3330,662	6,657	30,8	7,054	223,76	7100
14:09:01	79,539	76,4	471,1	3332,195	6,658	30,6	7,060	220,89	7106
14:09:11	78,931	76,4	471,1	3332,195	6,658	30,0	7,068	218,37	7165
14:09:21	78,435	76,7	471,1	3331,835	6,656	30,0	7,067	218,37	7191
14:09:31	78,423	76,7	471,8	3333,700	6,659	30,0	7,070	215,68	7104
14:09:41	78,410	77,0	472,6	3335,260	6,659	30,0	7,072	215,68	7131
14:09:51	78,398	77,0	472,6	3335,260	6,659	30,0	7,072	215,68	7131
14:10:01	78,385	77,0	472,6	3335,260	6,659	30,0	7,072	215,68	7131
14:10:11	78,373	77,2	474,1	3338,636	6,662	30,0	7,077	215,68	7159
14:10:21	78,360	77,2	474,1	3338,636	6,662	30,0	7,077	218,34	7247
14:10:31	78,770	77,2	474,1	3338,636	6,662	30,0	7,077	218,34	7247
14:10:41	79,334	77,5	474,1	3338,281	6,660	30,0	7,076	218,34	7273
14:10:51	79,559	77,5	475,7	3342,112	6,665	30,0	7,082	218,34	7276
14:11:01	79,753	77,8	475,7	3341,742	6,663	30,0	7,081	218,34	7303
14:11:11	79,947	78,0	475,7	3341,372	6,661	30,3	7,077	218,34	7262
14:11:21	80,141	78,3	476,4	3342,910	6,662	30,3	7,079	218,34	7287
14:11:31	80,328	78,3	477,2	3344,793	6,665	30,3	7,082	218,34	7288
14:11:41	80,421	78,9	477,2	3344,073	6,661	30,3	7,081	218,34	7340

Modelação Computacional da Central de Termoeletrica de Sines

14:11:51	80,514	78,9	477,2	3344,073	6,661	30,3	7,081	218,34	7340
14:12:01	80,606	79,4	478,7	3347,149	6,662	30,3	7,085	218,34	7396
14:12:11	80,699	79,7	478,7	3346,759	6,660	30,3	7,084	218,34	7423
14:12:21	80,792	80,0	478,7	3346,433	6,658	30,3	7,084	218,34	7447
14:12:31	80,885	80,5	479,5	3347,613	6,656	30,3	7,085	217,15	7456
14:12:41	80,972	80,5	480,2	3349,483	6,659	30,3	7,088	217,15	7458
14:12:51	81,057	81,0	480,2	3348,795	6,655	30,3	7,087	217,15	7506
14:13:01	81,141	81,5	480,2	3348,130	6,652	30,3	7,086	217,15	7552
14:13:11	81,225	81,5	481,8	3351,969	6,657	30,3	7,091	217,15	7556
14:13:21	81,360	82,1	481,8	3351,260	6,653	30,5	7,087	217,15	7538
14:13:31	81,532	82,6	481,8	3350,558	6,649	30,5	7,086	219,69	7675
14:13:41	81,705	83,2	482,5	3351,764	6,648	30,5	7,087	219,69	7726
14:13:51	81,878	83,4	483,3	3353,342	6,649	30,5	7,089	219,69	7751
14:14:01	82,051	83,7	483,3	3352,981	6,647	30,5	7,089	219,69	7776
14:14:11	82,236	84,3	483,3	3352,233	6,643	30,5	7,088	221,00	7874
14:14:21	82,511	84,9	484,8	3355,314	6,644	30,5	7,092	221,00	7927
14:14:31	82,786	85,4	484,8	3354,610	6,640	30,5	7,091	221,00	7976
14:14:41	83,061	85,7	484,8	3354,249	6,638	30,5	7,091	221,00	8000
14:14:51	83,421	86,3	486,3	3357,295	6,640	30,5	7,095	221,00	8052
14:15:01	83,911	86,5	486,3	3356,953	6,638	30,5	7,094	221,00	8075
14:15:11	84,285	87,1	486,3	3356,259	6,634	30,8	7,090	221,00	8060
14:15:21	84,531	87,6	486,3	3355,573	6,631	30,8	7,089	221,00	8106
14:15:31	84,777	88,2	487,9	3358,838	6,632	30,8	7,094	221,00	8157
14:15:41	85,024	88,4	487,9	3358,505	6,631	30,8	7,093	221,00	8179
14:15:51	85,295	88,7	487,9	3358,171	6,629	30,8	7,093	221,00	8201
14:16:01	85,621	89,3	489,5	3361,459	6,631	31,0	7,093	221,00	8184
14:16:11	85,948	89,8	489,5	3360,749	6,627	31,0	7,092	221,00	8230
14:16:21	86,264	90,3	489,5	3360,069	6,624	31,0	7,091	223,27	8359
14:16:31	86,567	90,6	489,5	3359,713	6,622	31,0	7,091	223,27	8382
14:16:41	86,870	90,9	491,0	3363,227	6,625	31,0	7,096	223,27	8408
14:16:51	87,394	91,4	491,0	3362,543	6,622	31,3	7,091	223,27	8377
14:17:01	88,366	92,0	491,0	3361,866	6,618	31,6	7,086	226,43	8481
14:17:11	88,978	92,5	492,6	3365,012	6,620	31,6	7,091	226,43	8530
14:17:21	88,786	93,1	492,6	3364,307	6,616	31,6	7,090	226,43	8576
14:17:31	88,595	93,7	492,6	3363,585	6,613	31,6	7,089	226,43	8622
14:17:41	88,404	94,8	494,1	3365,985	6,611	31,6	7,092	226,43	8720
14:17:51	88,213	95,4	494,1	3365,289	6,607	31,6	7,091	226,43	8764
14:18:01	88,292	95,9	494,1	3364,578	6,604	31,6	7,090	226,43	8809
14:18:11	88,773	96,5	495,6	3367,764	6,606	31,6	7,094	226,43	8854
14:18:21	89,421	97,6	495,6	3366,393	6,599	32,2	7,084	229,07	8887
14:18:31	90,581	98,1	495,6	3365,676	6,596	32,4	7,079	234,55	9076
14:18:41	91,803	98,7	496,4	3366,995	6,595	33,0	7,074	237,12	9077
14:18:51	93,016	99,2	497,2	3368,343	6,595	33,3	7,071	237,12	9048
14:19:01	93,750	99,5	497,2	3367,993	6,593	33,6	7,067	242,39	9203
14:19:11	94,775	100,0	497,2	3367,317	6,590	34,1	7,059	244,91	9202
14:19:21	96,003	100,3	498,7	3370,839	6,593	34,4	7,060	247,68	9260
14:19:31	96,742	100,8	498,7	3370,159	6,590	34,6	7,056	250,21	9331
14:19:41	97,620	101,4	498,7	3369,487	6,587	35,2	7,048	250,21	9232
14:19:51	98,677	101,9	500,2	3372,740	6,589	35,2	7,052	252,80	9376
14:20:01	99,707	102,5	500,2	3372,070	6,586	35,7	7,045	255,31	9378
14:20:11	100,257	103,0	500,2	3371,393	6,583	35,7	7,044	255,31	9423
14:20:21	100,861	103,7	501,7	3374,484	6,584	36,3	7,041	261,08	9559
14:20:31	101,540	104,5	501,7	3373,411	6,579	36,3	7,040	261,08	9631
14:20:41	102,344	105,4	502,5	3374,356	6,577	36,8	7,034	263,76	9654
14:20:51	103,404	105,9	503,3	3375,760	6,577	36,8	7,036	263,76	9702
14:21:01	104,202	106,8	503,3	3374,690	6,572	37,4	7,028	259,95	9490
14:21:11	105,149	107,6	504,0	3375,611	6,570	37,4	7,029	259,95	9560
14:21:21	105,506	108,2	504,8	3376,929	6,569	37,9	7,025	259,95	9478
14:21:31	105,774	109,3	504,8	3375,558	6,563	37,9	7,023	259,95	9567
14:21:41	106,041	110,3	505,6	3376,230	6,560	38,5	7,017	262,77	9623
14:21:51	106,365	110,9	506,3	3377,561	6,560	39,0	7,013	265,70	9637
14:22:01	107,817	112,1	506,3	3376,133	6,553	39,6	7,005	271,18	9797
14:22:11	108,865	112,6	506,3	3375,448	6,550	39,6	7,004	273,78	9936
14:22:21	109,884	113,8	507,9	3378,009	6,549	40,2	7,001	276,63	9998
14:22:31	111,061	114,3	507,9	3377,350	6,546	40,7	6,994	279,66	10017
14:22:41	111,810	115,4	507,9	3376,022	6,541	41,0	6,989	282,22	10132
14:22:51	111,595	117,1	508,6	3376,034	6,535	41,3	6,986	284,74	10291
14:23:01	110,450	118,3	509,4	3376,634	6,531	41,3	6,987	287,37	10481
14:23:11	110,502	118,9	509,4	3375,876	6,528	42,1	6,977	293,57	10553
14:23:21	111,413	120,0	510,2	3376,492	6,525	43,0	6,969	299,29	10622
14:23:31	113,020	120,8	510,9	3377,515	6,524	43,9	6,961	305,09	10677
14:23:41	114,778	121,7	510,9	3376,495	6,519	44,4	6,954	311,04	10823
14:23:51	116,386	122,8	510,9	3375,118	6,514	45,3	6,944	313,60	10794
14:24:01	118,187	123,4	511,7	3376,366	6,513	45,8	6,940	319,10	10909
14:24:11	119,713	124,6	512,5	3376,988	6,510	46,1	6,938	321,89	11035
14:24:21	121,108	125,8	512,5	3375,606	6,504	46,4	6,934	324,63	11159
14:24:31	122,106	126,9	513,2	3376,268	6,502	46,6	6,932	324,63	11191
14:24:41	122,783	127,5	513,2	3375,491	6,498	46,9	6,929	327,19	11268

Modelação Computacional da Central de Termoeletrica de Sines

14:24:51	123,439	128,7	514,0	3376,178	6,496	46,9	6,930	330,19	11472
14:25:01	124,064	129,9	514,0	3374,745	6,490	47,5	6,923	332,84	11526
14:25:11	124,652	130,5	514,0	3374,043	6,487	47,5	6,922	332,84	11574
14:25:21	125,259	131,6	514,7	3374,628	6,484	48,0	6,917	335,59	11635
14:25:31	126,088	132,3	515,5	3375,916	6,484	48,0	6,919	335,59	11689
14:25:41	127,030	133,1	515,5	3374,878	6,480	48,5	6,913	338,28	11723
14:25:51	127,547	133,9	515,5	3373,899	6,476	49,1	6,907	340,89	11745
14:26:01	128,204	134,5	515,5	3373,220	6,474	49,3	6,903	343,58	11820
14:26:11	128,993	135,0	515,5	3372,578	6,471	49,6	6,900	346,12	11877
14:26:21	130,016	135,0	516,3	3374,646	6,474	50,2	6,897	352,01	11939
14:26:31	130,851	135,6	516,3	3373,991	6,471	50,8	6,892	354,69	11934
14:26:41	132,275	135,6	517,0	3375,885	6,474	51,4	6,889	360,10	11977
14:26:51	133,766	136,1	517,0	3375,240	6,471	51,6	6,886	362,64	12041
14:27:01	135,281	136,1	517,0	3375,240	6,471	52,2	6,881	365,64	12009
14:27:11	136,499	136,1	517,0	3375,240	6,471	52,7	6,877	370,84	12040
14:27:21	137,338	136,3	517,3	3375,774	6,471	53,0	6,875	370,84	11994
14:27:31	138,318	136,3	517,3	3375,774	6,471	53,3	6,873	373,81	12020
14:27:41	139,048	136,3	517,3	3375,774	6,471	53,8	6,868	376,33	11970
14:27:51	139,450	136,6	517,3	3375,474	6,470	54,1	6,866	379,04	12014
14:28:01	140,153	136,6	517,3	3375,474	6,470	54,4	6,864	381,57	12028
14:28:11	141,240	136,6	517,3	3375,474	6,470	54,9	6,859	387,37	12071
14:28:21	142,713	136,6	517,3	3375,474	6,470	55,5	6,855	390,30	12030
14:28:31	143,599	136,6	517,3	3375,474	6,470	55,7	6,853	393,03	12045
14:28:41	144,578	136,3	517,3	3375,797	6,471	56,0	6,851	395,73	12037
14:28:51	145,534	136,1	517,3	3376,134	6,472	56,6	6,847	398,55	11955
14:29:01	146,339	136,1	516,6	3374,306	6,470	56,9	6,842	401,08	11954
14:29:11	147,136	135,5	516,6	3374,960	6,473	57,1	6,841	403,79	11913
14:29:21	147,843	135,5	515,5	3372,033	6,469	57,7	6,833	406,29	11846
14:29:31	148,600	134,9	515,5	3372,736	6,472	58,4	6,829	412,91	11813
14:29:41	150,023	134,1	514,7	3371,705	6,473	59,7	6,818	420,89	11625
14:29:51	152,610	133,5	514,0	3370,280	6,473	61,3	6,804	432,19	11468
14:30:01	154,929	133,0	514,0	3370,925	6,475	62,3	6,798	441,46	11404
14:30:11	157,562	132,4	513,2	3369,592	6,475	63,1	6,790	444,00	11193
14:30:21	158,775	131,8	512,4	3368,302	6,476	63,1	6,789	447,37	11207
14:30:31	159,639	130,9	512,4	3369,330	6,480	63,7	6,786	449,90	11033
14:30:41	160,075	130,3	511,7	3367,939	6,480	63,7	6,784	452,46	11027
14:30:51	160,484	129,8	510,9	3366,600	6,480	64,3	6,779	452,46	10823
14:31:01	160,824	129,2	510,9	3367,281	6,483	64,3	6,780	455,11	10823
14:31:11	161,163	128,4	509,4	3364,199	6,481	64,6	6,773	457,67	10706
14:31:21	160,685	128,4	509,4	3364,199	6,481	65,1	6,770	463,46	10705
14:31:31	157,966	128,4	509,4	3364,199	6,481	63,9	6,778	456,41	10836
14:31:41	154,804	128,4	507,8	3359,980	6,476	62,5	6,782	445,63	10927
14:31:51	151,423	128,4	507,8	3359,980	6,476	60,8	6,794	435,82	11105
14:32:01	148,465	128,4	507,8	3359,980	6,476	59,5	6,803	423,82	11104
14:32:11	145,369	128,4	507,0	3357,935	6,473	57,5	6,815	411,57	11273
14:32:21	142,281	128,9	506,3	3355,304	6,468	56,3	6,821	401,65	11353
14:32:31	140,000	128,9	506,3	3355,304	6,468	55,4	6,829	395,40	11401
14:32:41	137,677	129,1	506,3	3354,952	6,467	54,8	6,833	392,52	11490
14:32:51	136,025	129,5	506,3	3354,562	6,465	54,5	6,835	389,93	11520
14:33:01	135,049	130,0	506,3	3353,897	6,463	53,9	6,838	387,20	11634
14:33:11	134,171	130,0	506,3	3353,897	6,463	53,4	6,843	384,52	11690
14:33:21	133,085	130,5	505,6	3351,380	6,458	53,1	6,842	381,69	11718
14:33:31	132,091	130,8	505,0	3349,452	6,455	52,8	6,841	378,17	11706
14:33:41	131,063	131,1	505,0	3349,097	6,453	52,5	6,843	375,60	11718
14:33:51	130,318	131,6	505,0	3348,387	6,451	52,3	6,844	373,06	11756
14:34:01	130,371	131,9	505,0	3348,048	6,449	52,3	6,844	373,06	11780
14:34:11	130,425	132,2	505,0	3347,708	6,448	52,0	6,846	373,06	11872
14:34:21	130,478	132,7	505,0	3347,005	6,446	51,7	6,847	369,87	11890
14:34:31	130,531	133,3	505,0	3346,325	6,443	51,7	6,846	369,87	11938
14:34:41	130,585	133,8	505,0	3345,636	6,440	51,7	6,845	369,87	11986
14:34:51	130,638	133,8	505,0	3345,636	6,440	51,7	6,845	369,87	11986
14:35:01	130,871	134,4	505,0	3344,899	6,438	51,7	6,844	369,87	12038
14:35:11	131,166	134,9	505,7	3346,172	6,438	52,0	6,844	372,53	12104
14:35:21	131,491	135,4	505,7	3345,492	6,435	52,2	6,841	372,53	12100
14:35:31	131,827	136,0	506,5	3347,010	6,435	52,2	6,843	372,53	12154
14:35:41	132,163	136,0	506,5	3347,010	6,435	52,2	6,843	372,53	12154
14:35:51	132,512	136,5	506,5	3346,347	6,433	52,2	6,842	375,10	12283
14:36:01	132,880	137,1	507,8	3349,161	6,435	52,9	6,841	375,10	12183
14:36:11	133,247	137,1	507,8	3349,161	6,435	52,9	6,841	377,74	12268
14:36:21	133,980	137,6	507,8	3348,493	6,432	53,4	6,835	377,74	12180
14:36:31	134,900	138,2	507,8	3347,786	6,430	53,7	6,832	380,82	12261
14:36:41	135,941	138,8	509,4	3351,243	6,433	54,0	6,834	384,10	12352
14:36:51	137,039	139,3	509,4	3350,539	6,430	54,6	6,829	386,95	12345
14:37:01	138,109	139,9	509,4	3349,827	6,427	55,1	6,823	392,66	12438
14:37:11	139,806	139,9	510,9	3354,170	6,433	55,7	6,824	395,32	12388
14:37:21	141,058	140,5	510,9	3353,470	6,430	56,5	6,817	398,29	12331
14:37:31	142,417	141,0	510,9	3352,817	6,428	57,1	6,812	405,22	12441
14:37:41	143,674	141,6	512,5	3356,373	6,431	58,1	6,809	411,61	12465

Modelação Computacional da Central de Termoeletrica de Sines

14:37:51	145,620	141,6	512,5	3356,373	6,431	59,0	6,802	417,68	12419
14:38:01	147,666	142,1	512,5	3355,707	6,428	59,9	6,795	423,80	12434
14:38:11	150,103	142,1	514,0	3359,945	6,434	61,1	6,792	429,70	12323
14:38:21	154,091	142,1	514,0	3359,945	6,434	63,6	6,775	443,61	12107
14:38:31	157,622	142,7	514,0	3359,238	6,431	64,9	6,765	458,16	12234
14:38:41	160,176	142,7	515,6	3363,547	6,437	65,5	6,767	460,75	12171
14:38:51	161,689	143,3	515,6	3362,883	6,434	65,5	6,766	463,32	12295
14:39:01	162,722	143,5	515,6	3362,539	6,433	66,0	6,762	466,43	12264
14:39:11	164,140	143,8	517,1	3366,387	6,437	67,3	6,759	472,85	12171
14:39:21	167,142	143,8	517,1	3366,387	6,437	68,8	6,749	482,52	12035
14:39:31	169,262	144,1	517,1	3366,060	6,436	69,7	6,743	491,62	12089
14:39:41	170,648	144,4	517,9	3367,825	6,437	69,9	6,744	491,62	12056
14:39:51	171,239	144,7	518,7	3369,639	6,439	70,2	6,745	491,62	12026
14:40:01	172,659	144,9	518,7	3369,299	6,438	70,2	6,744	494,17	12119
14:40:11	174,223	145,2	518,7	3368,983	6,437	71,1	6,738	500,89	12099
14:40:21	176,246	145,2	518,7	3368,983	6,437	72,0	6,733	506,48	12012
14:40:31	177,440	145,5	520,2	3372,852	6,441	72,3	6,736	509,03	12048
14:40:41	178,274	146,0	520,2	3372,214	6,438	72,3	6,735	509,03	12108
14:40:51	179,146	146,6	520,2	3371,539	6,436	72,9	6,731	512,09	12092
14:41:01	180,942	146,6	520,2	3371,539	6,436	74,1	6,724	520,55	11986
14:41:11	182,246	146,6	520,2	3371,539	6,436	74,4	6,722	523,86	11994
14:41:21	182,540	146,8	520,2	3371,216	6,435	74,4	6,721	523,86	12025
14:41:31	182,834	147,4	520,9	3372,361	6,435	74,4	6,723	523,86	12091
14:41:41	183,437	147,9	521,5	3373,281	6,434	75,3	6,719	530,23	12099
14:41:51	185,350	148,2	521,5	3372,929	6,433	77,0	6,709	540,17	11935
14:42:01	188,685	148,2	521,5	3372,929	6,433	79,3	6,696	554,23	11683
14:42:11	191,727	148,2	521,5	3372,929	6,433	79,9	6,693	562,21	11707
14:42:21	192,196	148,2	521,5	3372,929	6,433	79,6	6,695	562,21	11783
14:42:31	192,500	148,8	521,5	3372,233	6,431	79,0	6,697	556,17	11862
14:42:41	192,803	149,4	521,5	3371,566	6,428	79,0	6,696	556,17	11929
14:42:51	194,374	149,4	521,5	3371,566	6,428	80,3	6,689	564,71	11789
14:43:01	195,739	149,4	521,5	3371,566	6,428	81,3	6,684	571,00	11695
14:43:11	195,918	149,4	521,5	3371,566	6,428	81,3	6,684	571,00	11695
14:43:21	195,642	149,9	521,5	3370,921	6,426	80,3	6,688	567,93	11921
14:43:31	195,366	149,9	521,5	3370,921	6,426	80,0	6,690	562,02	11865
14:43:41	195,032	150,4	521,5	3370,291	6,424	80,0	6,689	562,02	11928
14:43:51	194,543	150,4	521,5	3370,291	6,424	80,0	6,689	562,02	11928
14:44:01	193,784	150,4	521,5	3370,291	6,424	79,2	6,693	558,81	12060
14:44:11	192,013	151,1	521,5	3369,518	6,421	77,9	6,699	549,38	12239
14:44:21	190,258	151,1	521,5	3369,518	6,421	77,3	6,703	546,84	12338
14:44:31	189,478	151,6	521,5	3368,879	6,419	77,3	6,702	544,19	12340
14:44:41	189,622	151,6	521,5	3368,879	6,419	77,9	6,699	547,17	12271
14:44:51	189,767	151,6	521,5	3368,879	6,419	77,9	6,699	549,95	12333
14:45:01	189,911	152,2	521,5	3368,225	6,416	77,9	6,698	549,95	12396
14:45:11	190,056	152,2	521,5	3368,225	6,416	77,6	6,700	547,40	12406
14:45:21	190,200	152,4	521,5	3367,886	6,415	77,3	6,701	547,40	12503
14:45:31	190,345	152,7	521,5	3367,563	6,414	77,9	6,697	547,40	12382
14:45:41	191,043	152,7	521,5	3367,563	6,414	77,9	6,697	550,09	12442
14:45:51	192,076	152,7	521,5	3367,563	6,414	78,5	6,694	552,79	12376
14:46:01	193,060	153,0	521,5	3367,239	6,413	79,1	6,690	555,57	12328
14:46:11	193,803	153,3	521,5	3366,900	6,412	79,6	6,687	558,40	12292
14:46:21	194,606	153,3	521,5	3366,900	6,412	79,6	6,687	561,28	12355
14:46:31	195,570	153,3	521,5	3366,900	6,412	80,2	6,684	564,09	12276
14:46:41	196,515	153,8	521,5	3366,244	6,409	80,8	6,680	567,27	12269
14:46:51	197,500	153,8	521,5	3366,244	6,409	80,8	6,680	567,27	12269
14:47:01	198,254	153,8	521,5	3366,244	6,409	81,3	6,677	570,46	12206
14:47:11	198,842	154,3	521,9	3366,910	6,409	81,3	6,678	573,35	12334
14:47:21	199,540	154,3	521,9	3366,910	6,409	81,9	6,675	573,35	12199
14:47:31	200,282	154,3	521,9	3366,910	6,409	82,4	6,672	578,41	12167
14:47:41	201,019	154,9	523,2	3369,730	6,411	83,0	6,672	581,25	12160
14:47:51	201,986	154,9	523,2	3369,730	6,411	83,3	6,671	583,94	12145
14:48:01	202,724	155,1	523,2	3369,430	6,410	83,6	6,669	586,48	12163
14:48:11	203,506	155,4	523,2	3369,108	6,409	84,2	6,666	589,13	12111
14:48:21	204,667	155,4	523,2	3369,108	6,409	84,7	6,663	591,79	12028
14:48:31	205,314	155,7	523,2	3368,771	6,408	85,4	6,659	594,70	11971
14:48:41	205,993	155,9	524,8	3373,096	6,412	85,7	6,663	597,32	11993
14:48:51	207,127	155,9	524,8	3373,096	6,412	86,0	6,662	599,90	11966
14:49:01	208,164	156,5	524,8	3372,441	6,410	86,3	6,659	605,05	12061
14:49:11	209,435	156,5	524,8	3372,441	6,410	86,9	6,657	605,05	11928
14:49:21	210,570	157,0	524,8	3371,778	6,408	87,4	6,653	607,89	11927
14:49:31	211,715	157,0	526,4	3376,062	6,413	87,9	6,656	610,56	11862
14:49:41	213,441	157,6	526,4	3375,425	6,411	88,3	6,654	616,27	11958
14:49:51	214,621	158,1	526,4	3374,759	6,409	88,8	6,650	619,09	11960
14:50:01	215,975	158,1	526,4	3374,759	6,409	89,1	6,649	621,63	11947
14:50:11	217,177	158,7	526,4	3374,092	6,407	89,6	6,645	624,22	11936
14:50:21	218,747	159,3	527,9	3377,696	6,410	90,2	6,647	629,44	11972
14:50:31	220,450	159,8	527,9	3377,033	6,407	90,9	6,643	631,99	11935
14:50:41	221,711	160,4	527,9	3376,399	6,405	91,5	6,640	637,60	11959

Modelação Computacional da Central de Termoeletrica de Sines

14:50:51	223,689	160,9	527,9	3375,720	6,403	92,0	6,636	644,09	12024
14:51:01	225,491	161,5	527,9	3375,077	6,401	93,3	6,629	650,84	11913
14:51:11	227,883	161,5	529,4	3379,341	6,406	94,6	6,629	662,79	11838
14:51:21	231,384	161,5	529,4	3379,341	6,406	96,2	6,622	674,21	11659
14:51:31	234,313	161,5	529,4	3379,341	6,406	97,5	6,616	683,01	11496
14:51:41	234,715	161,5	529,4	3379,341	6,406	97,3	6,617	680,14	11507
14:51:51	233,289	162,2	529,4	3378,534	6,403	95,0	6,626	669,78	11956
14:52:01	231,986	162,4	529,4	3378,203	6,402	95,0	6,626	662,35	11860
14:52:11	232,341	162,7	530,1	3379,733	6,403	95,0	6,628	662,35	11900
14:52:21	232,697	162,7	530,7	3381,534	6,406	95,6	6,628	668,21	11873
14:52:31	233,270	163,2	530,7	3380,913	6,404	96,1	6,624	673,92	11914
14:52:41	234,429	163,2	530,7	3380,913	6,404	96,8	6,621	677,32	11813
14:52:51	237,032	163,2	530,7	3380,913	6,404	98,3	6,615	686,87	11630
14:53:01	239,292	163,2	530,7	3380,913	6,404	99,1	6,612	693,47	11545
14:53:11	241,001	163,5	530,7	3380,606	6,402	99,4	6,610	696,50	11554
14:53:21	242,385	163,8	530,7	3380,292	6,401	100,0	6,607	699,13	11503
14:53:31	243,481	164,0	531,1	3381,069	6,402	100,2	6,607	701,82	11520
14:53:41	245,092	164,0	531,4	3381,915	6,403	101,1	6,604	707,76	11411
14:53:51	247,113	164,0	531,4	3381,915	6,403	102,4	6,599	713,81	11204
14:54:01	249,546	164,0	531,4	3381,915	6,403	104,0	6,592	724,68	10980
14:54:11	252,863	164,0	531,4	3381,915	6,403	105,5	6,586	736,92	10831
14:54:21	254,244	164,0	531,4	3381,915	6,403	105,8	6,585	739,85	10789
14:54:31	254,863	164,0	531,4	3381,915	6,403	105,8	6,585	739,85	10789
14:54:41	255,352	164,0	531,4	3381,915	6,403	105,8	6,585	739,85	10789
14:54:51	256,120	164,0	531,4	3381,915	6,403	106,7	6,581	742,36	10618
14:55:01	257,051	164,0	531,4	3381,915	6,403	107,0	6,580	748,80	10643
14:55:11	258,301	164,0	531,4	3381,915	6,403	107,3	6,579	751,78	10619
14:55:21	258,914	164,0	531,4	3381,915	6,403	107,5	6,578	754,50	10595
14:55:31	259,487	164,0	531,0	3380,608	6,401	108,1	6,574	757,45	10503
14:55:41	260,129	164,0	530,4	3379,084	6,399	108,3	6,571	760,40	10478
14:55:51	261,160	164,0	530,4	3379,084	6,399	108,6	6,570	762,99	10451
14:56:01	262,370	164,0	530,4	3379,084	6,399	109,2	6,568	765,89	10353
14:56:11	263,362	164,0	530,4	3379,084	6,399	109,4	6,567	768,50	10324
14:56:21	263,688	164,0	530,4	3379,084	6,399	109,4	6,567	768,50	10324
14:56:31	264,014	164,0	530,0	3377,980	6,398	109,4	6,566	768,50	10322
14:56:41	264,278	164,0	529,6	3376,917	6,397	109,4	6,564	768,50	10319
14:56:51	264,451	164,0	529,6	3376,917	6,397	109,7	6,563	768,50	10257
14:57:01	264,624	164,0	529,6	3376,917	6,397	109,7	6,563	768,50	10257
14:57:11	264,797	164,0	529,6	3376,917	6,397	109,7	6,563	771,24	10294
14:57:21	264,970	164,0	529,6	3376,917	6,397	110,0	6,562	774,01	10264
14:57:31	265,143	164,0	529,6	3376,917	6,397	110,3	6,561	774,01	10200
14:57:41	265,452	164,0	529,6	3376,917	6,397	110,8	6,559	776,76	10108
14:57:51	265,767	164,0	529,6	3376,917	6,397	111,4	6,557	779,83	10018
14:58:01	266,081	164,0	529,6	3376,917	6,397	111,6	6,556	782,67	9988
14:58:11	266,803	163,8	529,6	3377,233	6,398	111,9	6,555	785,27	9913
14:58:21	267,466	163,8	529,6	3377,233	6,398	112,5	6,553	788,40	9816
14:58:31	268,147	163,5	529,6	3377,564	6,399	112,5	6,554	791,03	9806
14:58:41	268,988	163,5	529,6	3377,564	6,399	113,0	6,552	793,98	9713
14:58:51	269,575	163,2	529,6	3377,872	6,400	113,3	6,551	793,98	9609
14:59:01	270,212	163,2	529,6	3377,872	6,400	113,6	6,550	793,98	9543
14:59:11	270,910	163,0	529,6	3378,188	6,401	113,8	6,549	796,52	9469
14:59:21	271,708	163,0	529,6	3378,188	6,401	114,1	6,548	800,37	9452
14:59:31	272,591	163,0	529,6	3378,188	6,401	114,1	6,548	800,37	9452
14:59:41	272,945	163,0	529,6	3378,188	6,401	114,1	6,548	800,37	9452
14:59:51	273,248	162,7	529,6	3378,445	6,402	114,1	6,549	800,37	9417
15:00:01	273,551	162,7	529,6	3378,445	6,402	114,1	6,549	800,37	9417
15:00:11	273,773	162,7	529,6	3378,445	6,402	114,1	6,549	800,37	9417
15:00:21	273,975	162,7	529,6	3378,445	6,402	114,1	6,549	800,37	9417
15:00:31	274,178	162,7	529,6	3378,445	6,402	114,1	6,549	800,37	9417
15:00:41	274,381	162,7	529,6	3378,445	6,402	114,4	6,548	800,37	9354
15:00:51	274,594	162,7	529,6	3378,445	6,402	114,6	6,547	800,37	9290
15:01:01	274,861	163,0	529,6	3378,188	6,401	114,6	6,546	803,35	9360
15:01:11	275,129	163,2	529,6	3377,872	6,400	114,6	6,546	803,35	9402
15:01:21	275,396	163,2	529,6	3377,872	6,400	115,2	6,544	803,35	9270
15:01:31	275,733	163,5	529,6	3377,564	6,399	115,2	6,544	806,39	9347
15:01:41	276,108	163,5	529,6	3377,564	6,399	115,5	6,543	806,39	9288
15:01:51	276,534	163,8	530,1	3378,504	6,399	115,7	6,543	809,23	9307
15:02:01	277,269	163,8	530,1	3378,504	6,399	115,7	6,543	809,23	9307
15:02:11	278,003	164,0	530,7	3379,780	6,400	116,3	6,542	811,81	9250
15:02:21	279,082	164,0	530,9	3380,545	6,401	116,6	6,542	814,63	9218
15:02:31	280,139	164,3	530,9	3380,238	6,400	116,9	6,541	817,20	9211
15:02:41	281,207	164,3	530,9	3380,238	6,400	117,4	6,539	819,73	9112
15:02:51	282,517	164,3	530,9	3380,238	6,400	118,0	6,537	822,53	9003
15:03:01	284,275	164,3	530,9	3380,238	6,400	118,6	6,535	828,68	8938
15:03:11	285,620	164,6	530,9	3379,931	6,399	119,2	6,532	831,35	8879
15:03:21	286,574	164,6	532,2	3383,418	6,403	119,4	6,536	831,35	8824
15:03:31	287,566	164,6	532,2	3383,418	6,403	119,7	6,535	834,30	8782
15:03:41	288,530	164,6	532,2	3383,418	6,403	120,6	6,532	839,88	8640

Modelação Computacional da Central de Termoeletrica de Sines

15:03:51	289,185	164,6	532,2	3383,418	6,403	120,6	6,532	839,88	8640
15:04:01	289,751	164,6	532,2	3383,418	6,403	120,9	6,531	842,74	8607
15:04:11	290,331	164,6	532,2	3383,418	6,403	120,9	6,531	842,74	8607
15:04:21	290,931	164,6	532,2	3383,418	6,403	121,4	6,529	845,45	8498
15:04:31	292,099	164,6	532,2	3383,418	6,403	122,3	6,526	852,24	8359
15:04:41	293,042	164,6	532,6	3384,672	6,405	122,6	6,526	854,78	8318
15:04:51	293,532	164,6	533,0	3385,853	6,406	123,2	6,526	854,78	8192
15:05:01	294,163	164,8	533,0	3385,541	6,405	123,2	6,526	857,50	8263
15:05:11	295,440	164,8	533,0	3385,541	6,405	124,2	6,522	862,68	8080
15:05:21	296,335	164,8	533,0	3385,541	6,405	124,8	6,520	868,30	7982
15:05:31	297,047	164,8	533,0	3385,541	6,405	124,8	6,520	868,30	7982
15:05:41	297,430	164,8	533,0	3385,541	6,405	124,8	6,520	865,46	7956
15:05:51	297,813	164,8	533,0	3385,541	6,405	125,4	6,518	868,26	7853
15:06:01	299,142	164,8	533,0	3385,541	6,405	126,4	6,515	877,17	7693
15:06:11	300,092	164,8	533,0	3385,541	6,405	127,0	6,513	883,14	7611
15:06:21	303,464	164,8	533,0	3385,541	6,405	127,6	6,511	885,86	7492
15:06:31	304,652	164,8	533,0	3385,541	6,405	127,6	6,511	885,86	7492
15:06:41	305,252	164,8	533,0	3385,541	6,405	127,9	6,510	889,61	7462
15:06:51	306,521	164,8	532,8	3384,775	6,404	128,8	6,506	892,13	7275
15:07:01	308,496	164,8	532,8	3384,775	6,404	129,9	6,503	897,79	7058
15:07:11	309,525	164,8	532,8	3384,775	6,404	129,9	6,503	903,35	7102
15:07:21	310,326	164,8	532,8	3384,775	6,404	130,4	6,501	903,35	6976
15:07:31	311,020	164,8	532,8	3384,775	6,404	130,7	6,500	906,05	6935
15:07:41	311,608	164,8	532,3	3383,581	6,403	131,0	6,498	906,05	6871
15:07:51	312,098	164,8	532,3	3383,581	6,403	131,5	6,496	908,62	6762
15:08:01	312,927	164,8	532,3	3383,581	6,403	132,1	6,494	915,23	6687
15:08:11	314,355	164,8	532,3	3383,581	6,403	132,6	6,492	917,97	6579
15:08:21	314,774	164,8	532,3	3383,581	6,403	132,9	6,491	920,73	6529
15:08:31	315,194	164,8	532,3	3383,581	6,403	133,4	6,490	920,73	6412
15:08:41	315,739	164,8	532,3	3383,581	6,403	133,7	6,489	926,64	6384
15:08:51	316,406	164,8	532,0	3382,569	6,402	134,4	6,486	930,36	6261
15:09:01	317,470	164,8	532,0	3382,569	6,402	134,9	6,484	932,88	6151
15:09:11	318,672	164,8	532,0	3382,569	6,402	135,5	6,482	935,61	6033
15:09:21	319,589	164,8	532,0	3382,569	6,402	136,1	6,480	938,36	5917
15:09:31	320,177	164,8	532,0	3382,569	6,402	136,7	6,479	941,29	5801
15:09:41	321,322	164,8	531,7	3381,751	6,401	136,7	6,478	943,89	5816
15:09:51	321,875	164,8	531,7	3381,751	6,401	136,7	6,478	943,89	5816
15:10:01	322,758	164,8	531,7	3381,751	6,401	137,2	6,476	946,47	5706
15:10:11	323,066	164,8	531,7	3381,751	6,401	137,2	6,476	946,47	5706
15:10:21	322,909	164,8	531,7	3381,751	6,401	137,8	6,474	949,24	5584
15:10:31	322,751	164,8	531,7	3381,751	6,401	138,4	6,472	952,25	5479
15:10:41	322,594	164,8	531,7	3381,751	6,401	138,4	6,472	954,86	5494
15:10:51	322,437	164,8	531,7	3381,751	6,401	138,9	6,471	954,86	5370
15:11:01	322,279	164,8	531,7	3381,751	6,401	138,9	6,471	957,52	5385
15:11:11	322,491	164,8	531,7	3381,751	6,401	138,9	6,471	957,52	5385
15:11:21	322,875	164,8	531,7	3381,751	6,401	139,5	6,469	957,52	5253
15:11:31	323,399	165,1	531,7	3381,437	6,400	139,8	6,468	962,72	5265
15:11:41	324,294	165,4	531,7	3381,109	6,398	140,1	6,466	965,84	5257
15:11:51	324,970	165,4	531,7	3381,109	6,398	141,3	6,463	971,47	5013
15:12:01	327,008	165,4	531,7	3381,109	6,398	142,0	6,461	978,69	4897
15:12:11	328,256	165,6	531,7	3380,803	6,397	142,6	6,459	978,69	4826
15:12:21	329,004	165,9	531,7	3380,496	6,396	142,6	6,459	981,61	4891
15:12:31	329,836	165,9	531,7	3380,496	6,396	142,6	6,459	981,61	4891
15:12:41	330,885	165,9	531,7	3380,496	6,396	142,6	6,459	981,61	4891
15:12:51	332,042	166,2	532,0	3380,935	6,396	143,1	6,458	981,61	4820
15:13:01	333,307	166,2	532,0	3380,935	6,396	143,1	6,458	981,61	4820
15:13:11	333,124	166,5	532,0	3380,607	6,395	143,1	6,457	984,27	4887
15:13:21	332,940	166,5	532,0	3380,607	6,395	143,1	6,457	984,27	4887
15:13:31	332,756	166,7	532,0	3380,300	6,394	143,1	6,457	984,27	4937
15:13:41	332,573	166,7	532,5	3381,925	6,396	143,1	6,459	984,27	4939
15:13:51	332,380	166,7	532,8	3382,651	6,397	143,1	6,460	984,27	4940
15:14:01	331,997	166,7	532,8	3382,651	6,397	143,1	6,460	984,27	4940
15:14:11	331,614	166,7	532,8	3382,651	6,397	143,1	6,460	984,27	4940
15:14:21	331,197	166,4	532,8	3382,978	6,398	143,1	6,460	983,22	4881
15:14:31	330,757	166,4	532,8	3382,978	6,398	143,1	6,460	981,42	4872
15:14:41	330,396	166,1	532,8	3383,377	6,400	143,1	6,461	981,42	4806
15:14:51	330,129	166,1	532,8	3383,377	6,400	143,1	6,461	981,42	4806
15:15:01	329,863	165,8	532,8	3383,719	6,401	142,6	6,463	981,42	4869
15:15:11	329,596	165,8	532,8	3383,719	6,401	142,6	6,463	981,42	4869
15:15:21	329,421	165,5	532,8	3384,045	6,402	142,6	6,463	978,43	4800
15:15:31	329,253	165,2	532,8	3384,372	6,403	142,6	6,463	978,43	4746
15:15:41	329,085	165,2	532,4	3383,370	6,402	142,0	6,464	975,86	4857
15:15:51	328,917	165,2	531,9	3381,926	6,400	142,0	6,462	975,86	4856
15:16:01	328,749	165,0	531,9	3382,232	6,401	142,0	6,462	975,86	4805
15:16:11	328,431	164,7	531,9	3382,545	6,402	141,8	6,464	972,77	4800
15:16:21	327,813	164,4	531,6	3381,858	6,402	141,5	6,463	972,77	4811
15:16:31	328,273	164,2	531,6	3382,164	6,403	141,5	6,464	972,77	4760
15:16:41	328,367	164,2	531,0	3380,622	6,401	141,5	6,462	969,99	4745

Modelação Computacional da Central de Termoeletrica de Sines

15:16:51	328,107	163,9	531,0	3380,915	6,402	140,9	6,464	969,99	4816
15:17:01	327,848	163,7	531,0	3381,229	6,403	140,9	6,464	967,36	4752
15:17:11	327,450	163,4	531,0	3381,557	6,404	140,4	6,466	967,36	4826
15:17:21	325,195	163,4	531,0	3381,557	6,404	139,1	6,470	957,71	5066
15:17:31	323,579	163,6	530,4	3379,457	6,401	138,5	6,469	952,61	5215
15:17:41	321,948	163,6	530,4	3379,457	6,401	137,9	6,471	949,06	5335
15:17:51	320,862	163,9	529,7	3377,210	6,397	137,9	6,468	949,06	5382
15:18:01	319,821	163,9	529,7	3377,210	6,397	137,1	6,471	946,52	5559
15:18:11	318,974	164,2	529,7	3376,901	6,396	136,8	6,471	943,85	5656
15:18:21	318,319	164,2	529,7	3376,901	6,396	136,2	6,473	938,14	5761
15:18:31	317,770	164,2	529,7	3376,901	6,396	135,9	6,474	938,14	5821
15:18:41	317,318	164,2	529,7	3376,901	6,396	135,7	6,475	938,14	5886
15:18:51	316,881	164,2	529,3	3375,662	6,395	135,7	6,473	935,55	5868
15:19:01	316,444	164,2	529,3	3375,662	6,395	135,1	6,475	932,67	5982
15:19:11	316,048	164,2	529,3	3375,662	6,395	134,6	6,476	930,04	6087
15:19:21	315,728	164,2	529,3	3375,662	6,395	134,6	6,476	927,21	6068
15:19:31	315,408	164,2	528,8	3374,331	6,393	134,0	6,476	927,21	6195
15:19:41	314,988	164,2	528,8	3374,331	6,393	134,0	6,476	924,62	6178
15:19:51	314,014	164,2	528,5	3373,583	6,392	133,4	6,477	924,62	6301
15:20:01	312,968	164,7	528,5	3372,918	6,390	132,6	6,479	918,67	6556
15:20:11	312,040	164,7	528,5	3372,918	6,390	132,3	6,480	915,86	6607
15:20:21	312,279	165,0	528,5	3372,585	6,389	132,3	6,480	915,86	6657
15:20:31	312,517	165,0	528,5	3372,585	6,389	132,9	6,478	918,68	6542
15:20:41	312,756	165,3	528,5	3372,229	6,388	133,5	6,475	924,48	6497
15:20:51	313,279	165,3	528,5	3372,229	6,388	134,6	6,472	930,60	6277
15:21:01	314,378	165,3	528,5	3372,229	6,388	135,3	6,470	935,94	6167
15:21:11	315,797	165,6	528,5	3371,918	6,387	135,9	6,468	941,24	6109
15:21:21	316,473	165,6	528,5	3371,918	6,387	137,1	6,464	946,99	5871
15:21:31	317,997	165,6	528,2	3371,094	6,385	137,9	6,460	952,57	5718
15:21:41	320,410	165,6	528,2	3371,094	6,385	138,8	6,458	958,26	5538
15:21:51	321,164	165,6	528,2	3371,094	6,385	139,1	6,457	961,41	5495
15:22:01	322,998	165,9	527,9	3369,894	6,383	139,7	6,454	964,63	5438
15:22:11	324,438	165,9	527,9	3369,894	6,383	140,2	6,452	967,43	5324
15:22:21	325,079	165,9	527,9	3369,894	6,383	140,5	6,451	970,54	5277
15:22:31	326,301	165,9	527,9	3369,894	6,383	140,8	6,450	973,14	5231
15:22:41	326,829	165,9	527,9	3369,894	6,383	141,0	6,450	973,14	5171
15:22:51	327,337	165,9	527,9	3369,894	6,383	141,3	6,449	975,87	5121
15:23:01	327,695	165,9	527,9	3369,894	6,383	141,3	6,449	975,87	5121
15:23:11	328,047	165,9	527,9	3369,894	6,383	141,9	6,447	978,76	5007
15:23:21	328,423	165,9	527,9	3369,894	6,383	142,4	6,446	981,66	4898
15:23:31	328,857	165,6	527,9	3370,214	6,384	142,4	6,446	981,66	4847
15:23:41	329,291	165,6	527,9	3370,214	6,384	142,4	6,446	981,66	4847
15:23:51	329,113	165,6	527,9	3370,214	6,384	142,4	6,446	984,39	4860
15:24:01	328,712	165,6	527,9	3370,214	6,384	142,4	6,446	981,60	4846
15:24:11	328,352	165,9	527,9	3369,894	6,383	141,9	6,447	979,04	5006
15:24:21	328,182	165,9	527,9	3369,894	6,383	142,5	6,445	981,86	4881
15:24:31	328,012	165,9	527,9	3369,894	6,383	142,5	6,445	984,49	4894
15:24:41	327,843	165,9	527,9	3369,894	6,383	142,5	6,445	984,49	4894
15:24:51	327,673	165,9	527,9	3369,894	6,383	142,5	6,445	984,49	4894
15:25:01	327,503	165,9	527,9	3369,894	6,383	142,5	6,445	984,49	4894
15:25:11	326,591	165,9	527,9	3369,894	6,383	142,5	6,445	984,49	4894
15:25:21	327,027	165,9	527,9	3369,894	6,383	142,5	6,445	984,49	4894
15:25:31	327,462	165,9	527,9	3369,894	6,383	142,5	6,445	984,49	4894
15:25:41	327,397	165,9	527,9	3369,894	6,383	142,5	6,445	981,96	4881
15:25:51	327,245	165,6	527,9	3370,214	6,384	142,5	6,446	981,96	4830
15:26:01	327,093	165,6	527,9	3370,214	6,384	142,5	6,446	981,96	4830
15:26:11	326,941	165,6	527,9	3370,214	6,384	142,5	6,446	981,96	4830
15:26:21	326,789	165,6	527,9	3370,214	6,384	142,5	6,446	981,96	4830
15:26:31	326,637	165,6	527,9	3370,214	6,384	142,5	6,446	981,96	4830
15:26:41	326,470	165,6	527,9	3370,214	6,384	142,5	6,446	983,06	4835
15:26:51	326,296	165,6	527,9	3370,214	6,384	142,5	6,446	983,06	4835
15:27:01	326,122	165,6	527,9	3370,214	6,384	142,5	6,446	983,06	4835
15:27:11	325,949	165,6	527,9	3370,214	6,384	142,5	6,446	983,06	4835
15:27:21	325,775	165,6	527,9	3370,214	6,384	142,5	6,446	983,06	4835
15:27:31	325,601	165,6	527,9	3370,214	6,384	142,5	6,446	983,06	4835
15:27:41	325,427	165,6	527,7	3369,467	6,383	142,5	6,445	984,12	4839
15:27:51	325,253	165,6	527,7	3369,467	6,383	142,5	6,445	984,12	4839
15:28:01	325,079	165,6	527,7	3369,467	6,383	142,5	6,445	984,12	4839
15:28:11	324,906	165,6	527,7	3369,467	6,383	142,5	6,445	984,12	4839
15:28:21	324,732	165,6	527,7	3369,467	6,383	142,5	6,445	984,12	4839
15:28:31	325,907	165,6	527,7	3369,467	6,383	142,5	6,445	984,12	4839
15:28:41	325,934	165,6	527,7	3369,467	6,383	142,5	6,445	984,12	4839
15:28:51	325,960	165,6	527,7	3369,467	6,383	142,5	6,445	985,40	4846
15:29:01	325,987	165,6	527,7	3369,467	6,383	142,5	6,445	985,40	4846
15:29:11	326,013	165,6	527,7	3369,467	6,383	142,5	6,445	985,40	4846
15:29:21	326,040	165,6	527,7	3369,467	6,383	142,5	6,445	985,40	4846
15:29:31	326,066	165,6	527,7	3369,467	6,383	142,5	6,445	985,40	4846
15:29:41	326,009	165,6	527,7	3369,467	6,383	142,5	6,445	985,40	4846

Modelação Computacional da Central de Termoeletrica de Sines

15:29:51	325,915	165,6	527,7	3369,467	6,383	142,5	6,445	985,40	4846
15:30:01	325,820	165,6	527,3	3368,396	6,382	142,5	6,443	985,40	4844
15:30:11	325,726	165,6	527,3	3368,396	6,382	142,5	6,443	985,40	4844
15:30:21	325,632	165,6	527,3	3368,396	6,382	142,5	6,443	985,40	4844
15:30:31	325,538	165,6	527,3	3368,396	6,382	142,5	6,443	985,40	4844
15:30:41	325,444	165,6	527,0	3367,530	6,381	142,5	6,442	985,40	4843
15:30:51	325,349	165,3	527,0	3367,843	6,382	142,5	6,443	982,33	4778
15:31:01	325,255	165,1	527,0	3368,179	6,383	142,2	6,444	982,33	4785
15:31:11	325,161	165,1	527,0	3368,179	6,383	142,0	6,445	979,08	4830
15:31:21	325,067	164,8	527,0	3368,499	6,384	142,0	6,445	976,14	4764
15:31:31	324,972	164,5	527,0	3368,812	6,385	141,7	6,446	976,14	4778
15:31:41	324,495	164,2	526,7	3368,427	6,385	141,4	6,447	973,51	4774
15:31:51	323,909	164,0	526,7	3368,762	6,387	141,1	6,448	973,51	4780
15:32:01	322,103	163,4	526,7	3369,433	6,389	140,9	6,450	970,28	4720
15:32:11	320,117	163,1	526,3	3368,753	6,389	140,3	6,450	967,35	4774
15:32:21	318,130	162,6	526,3	3369,410	6,391	140,0	6,452	967,35	4737
15:32:31	316,102	162,3	526,3	3369,745	6,392	139,7	6,453	964,27	4739
15:32:41	314,055	161,7	526,0	3369,544	6,393	139,1	6,455	961,52	4748
15:32:51	312,473	161,2	526,0	3370,214	6,395	138,8	6,457	961,52	4708
15:33:01	311,069	160,6	526,0	3370,848	6,397	138,2	6,459	958,09	4732
15:33:11	310,254	160,4	526,0	3371,183	6,399	137,0	6,463	950,94	4916
15:33:21	309,375	160,0	525,6	3370,372	6,398	136,1	6,465	938,65	4997
15:33:31	308,266	159,5	525,6	3370,998	6,401	135,2	6,468	932,09	5064
15:33:41	307,824	159,2	525,2	3370,059	6,400	134,6	6,469	926,95	5129
15:33:51	307,292	159,0	525,2	3370,379	6,401	133,7	6,472	921,31	5251
15:34:01	306,260	159,0	525,2	3370,379	6,401	133,1	6,474	918,28	5376
15:34:11	305,357	158,7	525,2	3370,700	6,402	132,5	6,477	915,16	5440
15:34:21	304,081	158,7	524,9	3369,917	6,401	131,3	6,479	908,22	5665
15:34:31	302,429	158,7	524,9	3369,917	6,401	130,4	6,482	902,63	5835
15:34:41	301,789	158,7	524,9	3369,917	6,401	129,8	6,484	896,96	5930
15:34:51	301,071	158,7	524,9	3369,917	6,401	129,3	6,486	894,16	6037
15:35:01	300,374	158,7	524,9	3369,917	6,401	129,0	6,487	891,13	6088
15:35:11	299,892	158,7	524,9	3369,917	6,401	128,4	6,489	888,49	6202
15:35:21	299,352	158,7	524,9	3369,917	6,401	127,9	6,490	882,80	6287
15:35:31	298,551	159,0	524,9	3369,596	6,400	127,9	6,490	882,80	6335
15:35:41	298,265	159,0	525,1	3370,307	6,401	127,3	6,493	877,14	6426
15:35:51	298,033	159,5	525,1	3369,672	6,399	127,3	6,492	877,14	6521
15:36:01	297,801	159,5	525,1	3369,672	6,399	126,8	6,494	877,14	6641
15:36:11	297,569	159,8	525,1	3369,336	6,398	126,8	6,493	877,14	6691
15:36:21	297,674	160,0	525,9	3371,023	6,399	126,8	6,495	877,14	6742
15:36:31	297,839	160,3	526,4	3372,089	6,400	126,8	6,497	877,14	6796
15:36:41	298,004	160,6	526,4	3371,777	6,399	126,8	6,496	877,14	6842
15:36:51	298,168	160,9	526,4	3371,458	6,398	126,8	6,496	877,14	6890
15:37:01	298,333	161,1	526,4	3371,123	6,397	126,8	6,495	880,38	6965
15:37:11	298,691	161,7	526,4	3370,416	6,394	127,3	6,493	880,38	6948
15:37:21	299,743	162,0	527,1	3372,217	6,396	127,3	6,495	883,07	7019
15:37:31	300,135	162,5	527,8	3373,583	6,396	127,9	6,495	883,07	6985
15:37:41	300,529	163,1	527,8	3372,917	6,394	127,9	6,494	885,73	7105
15:37:51	301,667	163,4	527,8	3372,598	6,393	128,4	6,492	889,61	7060
15:38:01	302,360	163,9	527,8	3371,953	6,391	128,9	6,489	892,24	7051
15:38:11	303,236	164,5	527,8	3371,301	6,388	129,5	6,487	894,81	7039
15:38:21	304,335	164,8	528,5	3372,863	6,390	129,5	6,489	898,66	7130
15:38:31	305,556	165,1	528,5	3372,531	6,389	130,0	6,487	901,34	7073
15:38:41	306,677	165,6	529,2	3373,897	6,389	131,3	6,484	904,32	6912
15:38:51	308,581	165,6	529,2	3373,897	6,389	132,5	6,480	915,20	6714
15:39:01	310,679	165,6	529,2	3373,897	6,389	134,5	6,474	925,34	6341
15:39:11	313,439	165,6	529,2	3373,897	6,389	135,8	6,470	934,22	6097
15:39:21	315,743	165,6	529,2	3373,897	6,389	136,4	6,469	940,40	5998
15:39:31	317,083	165,9	529,7	3374,869	6,389	137,0	6,468	943,63	5932
15:39:41	318,983	165,9	529,7	3374,869	6,389	138,2	6,464	948,97	5703
15:39:51	321,021	166,2	530,0	3375,465	6,389	138,7	6,464	954,57	5662
15:40:01	322,337	166,2	530,0	3375,465	6,389	139,3	6,462	958,50	5555
15:40:11	323,227	166,2	530,0	3375,465	6,389	139,9	6,460	962,11	5443
15:40:21	324,198	166,2	530,0	3375,465	6,389	140,4	6,458	967,69	5346
15:40:31	325,040	166,2	530,0	3375,465	6,389	140,7	6,458	967,69	5282
15:40:41	325,521	166,2	530,0	3375,465	6,389	141,0	6,457	970,45	5238
15:40:51	324,803	166,2	530,0	3375,465	6,389	141,0	6,457	970,45	5238
15:41:01	324,084	166,2	530,0	3375,465	6,389	141,0	6,457	970,45	5238
15:41:11	323,366	166,2	530,0	3375,465	6,389	141,0	6,457	973,17	5252
15:41:21	323,765	166,2	530,0	3375,465	6,389	141,0	6,457	973,17	5252
15:41:31	324,074	165,9	529,7	3374,796	6,389	141,0	6,456	973,17	5200
15:41:41	323,758	165,6	529,7	3375,105	6,390	141,0	6,456	968,73	5127
15:41:51	323,443	165,6	529,1	3373,606	6,388	140,4	6,456	965,76	5233
15:42:01	322,931	165,6	529,1	3373,606	6,388	139,8	6,458	963,10	5367
15:42:11	322,110	165,6	529,1	3373,606	6,388	139,5	6,459	960,54	5412
15:42:21	321,193	165,6	529,1	3373,606	6,388	139,2	6,460	957,82	5475
15:42:31	320,127	165,6	528,8	3372,694	6,387	138,6	6,461	955,20	5595
15:42:41	318,878	165,4	528,8	3372,968	6,388	138,3	6,462	952,44	5596

Modelação Computacional da Central de Termoeletrica de Sines

15:42:51	318,105	165,1	528,5	3372,535	6,388	137,8	6,463	952,44	5670
15:43:01	317,531	165,1	528,5	3372,535	6,388	137,5	6,464	949,74	5718
15:43:11	316,793	165,1	528,5	3372,535	6,388	136,9	6,465	944,02	5811
15:43:21	315,680	165,1	528,5	3372,535	6,388	136,4	6,467	940,95	5913
15:43:31	314,648	165,1	528,5	3372,535	6,388	136,4	6,467	937,99	5894
15:43:41	314,159	165,1	528,5	3372,535	6,388	136,1	6,468	937,99	5955
15:43:51	313,262	165,1	528,5	3372,535	6,388	135,8	6,468	937,86	6016
15:44:01	312,294	165,1	528,5	3372,535	6,388	135,8	6,468	937,86	6016
15:44:11	312,359	165,1	528,5	3372,535	6,388	135,8	6,468	937,86	6016
15:44:21	312,128	164,6	528,5	3373,238	6,391	135,8	6,469	934,92	5889
15:44:31	311,897	164,6	528,5	3373,238	6,391	135,8	6,469	934,92	5889
15:44:41	311,665	164,6	528,5	3373,238	6,391	135,6	6,470	934,92	5948
15:44:51	311,645	164,6	528,5	3373,238	6,391	135,3	6,471	934,92	6001
15:45:01	311,659	164,6	528,5	3373,238	6,391	135,3	6,471	934,92	6001
15:45:11	311,673	164,6	528,5	3373,238	6,391	135,3	6,471	932,35	5985
15:45:21	311,687	164,6	528,5	3373,238	6,391	135,3	6,471	932,35	5985
15:45:31	311,700	164,1	528,5	3373,830	6,393	135,3	6,472	932,35	5893
15:45:41	311,714	164,1	528,5	3373,830	6,393	135,1	6,472	932,35	5940
15:45:51	311,748	164,1	528,5	3373,830	6,393	135,1	6,472	932,35	5940
15:46:01	311,791	164,1	528,5	3373,830	6,393	134,9	6,473	929,82	5971
15:46:11	311,834	164,1	528,5	3373,830	6,393	134,9	6,473	929,82	5971
15:46:21	311,876	164,1	528,5	3373,830	6,393	134,9	6,473	929,82	5971
15:46:31	311,919	164,1	528,5	3373,830	6,393	134,9	6,473	929,82	5971
15:46:41	311,962	164,1	528,5	3373,830	6,393	134,9	6,473	929,82	5971
15:46:51	311,965	163,8	528,8	3374,939	6,395	134,9	6,474	927,24	5902
15:47:01	311,951	163,8	528,8	3374,939	6,395	134,9	6,474	927,24	5902
15:47:11	311,936	163,5	528,8	3375,257	6,396	134,9	6,475	927,24	5853
15:47:21	311,922	163,5	528,8	3375,257	6,396	134,6	6,476	927,24	5927
15:47:31	311,908	163,5	529,2	3376,205	6,397	134,6	6,477	927,24	5928
15:47:41	311,893	163,5	529,2	3376,205	6,397	134,6	6,477	927,24	5928
15:47:51	312,063	163,5	529,2	3376,205	6,397	134,6	6,477	927,24	5928
15:48:01	312,301	163,5	529,2	3376,205	6,397	134,6	6,477	927,24	5928
15:48:11	312,538	163,5	529,2	3376,205	6,397	134,6	6,477	927,24	5928
15:48:21	313,714	163,5	529,2	3376,205	6,397	134,8	6,476	927,24	5883
15:48:31	315,496	163,5	529,4	3377,002	6,398	134,8	6,477	927,24	5884
15:48:41	316,015	163,5	529,4	3377,002	6,398	134,8	6,477	927,24	5884
15:48:51	316,485	163,5	530,0	3378,522	6,400	134,8	6,479	927,24	5886
15:49:01	316,786	163,5	530,0	3378,522	6,400	134,8	6,479	926,03	5878
15:49:11	317,087	163,7	530,0	3378,280	6,399	134,8	6,479	926,03	5916
15:49:21	317,388	164,0	530,0	3377,949	6,398	134,8	6,479	926,03	5968
15:49:31	317,410	164,0	530,3	3378,786	6,399	134,6	6,480	924,46	6004
15:49:41	317,367	164,0	530,3	3378,786	6,399	134,6	6,480	924,46	6004
15:49:51	317,325	164,0	530,5	3379,539	6,400	134,6	6,481	924,46	6005
15:50:01	317,283	164,0	530,5	3379,539	6,400	134,6	6,481	924,46	6005
15:50:11	317,241	164,0	530,5	3379,539	6,400	134,6	6,481	924,46	6005
15:50:21	317,199	164,0	530,5	3379,539	6,400	134,6	6,481	924,46	6005
15:50:31	317,198	164,5	530,5	3378,902	6,398	134,6	6,480	925,49	6111
15:50:41	317,211	164,5	530,5	3378,902	6,398	134,6	6,480	925,49	6111
15:50:51	317,225	164,5	530,5	3378,902	6,398	134,9	6,479	927,15	6058
15:51:01	317,239	164,5	530,9	3380,014	6,399	134,9	6,481	927,15	6059
15:51:11	317,253	164,5	530,9	3380,014	6,399	134,9	6,481	929,85	6077
15:51:21	317,267	164,5	530,9	3380,014	6,399	135,2	6,480	929,85	6017
15:51:31	317,159	164,5	530,9	3380,014	6,399	135,2	6,480	929,85	6017
15:51:41	316,954	164,5	530,9	3380,014	6,399	135,2	6,480	932,43	6034
15:51:51	316,748	164,5	531,3	3381,075	6,401	135,2	6,481	932,43	6035
15:52:01	316,543	164,5	531,3	3381,075	6,401	135,6	6,480	935,01	5947
15:52:11	315,784	164,5	531,3	3381,075	6,401	135,9	6,479	935,01	5886
15:52:21	315,543	164,5	531,3	3381,075	6,401	135,9	6,479	935,01	5886
15:52:31	315,516	164,5	531,3	3381,075	6,401	136,2	6,478	935,01	5822
15:52:41	315,488	164,5	531,3	3381,075	6,401	136,4	6,478	937,66	5779
15:52:51	315,460	164,5	531,3	3381,075	6,401	136,4	6,478	937,66	5779
15:53:01	315,433	164,5	531,3	3381,075	6,401	137,0	6,476	940,26	5673
15:53:11	315,405	164,5	531,3	3381,075	6,401	137,0	6,476	940,26	5673
15:53:21	315,242	164,5	531,3	3381,075	6,401	137,0	6,476	943,01	5690
15:53:31	314,975	164,5	531,3	3381,075	6,401	137,0	6,476	943,01	5690
15:53:41	314,708	164,5	531,3	3381,075	6,401	137,0	6,476	943,01	5690
15:53:51	314,653	164,5	531,3	3381,075	6,401	137,0	6,476	943,01	5690
15:54:01	314,695	164,5	531,3	3381,075	6,401	137,2	6,475	943,01	5636
15:54:11	314,737	164,5	531,3	3381,075	6,401	137,4	6,474	943,01	5583
15:54:21	314,779	164,5	531,3	3381,075	6,401	137,4	6,474	944,49	5592
15:54:31	314,822	164,3	531,3	3381,316	6,401	137,4	6,475	945,53	5560
15:54:41	314,864	164,1	531,3	3381,586	6,402	137,4	6,475	945,53	5517
15:54:51	315,234	164,1	531,3	3381,586	6,402	137,4	6,475	945,53	5517
15:55:01	315,738	164,1	531,3	3381,586	6,402	137,4	6,475	945,53	5517
15:55:11	316,137	164,1	531,3	3381,586	6,402	137,7	6,474	945,53	5460
15:55:21	316,503	164,1	531,3	3381,586	6,402	137,9	6,474	945,53	5413
15:55:31	316,490	164,1	531,3	3381,586	6,402	137,9	6,474	945,53	5413
15:55:41	316,477	164,1	531,3	3381,586	6,402	137,9	6,474	945,53	5413

Modelação Computacional da Central de Termoeletrica de Sines

15:55:51	316,463	164,1	531,3	3381,586	6,402	137,9	6,474	945,53	5413
15:56:01	316,450	164,1	531,3	3381,586	6,402	137,9	6,474	945,53	5413
15:56:11	316,437	163,8	531,3	3381,914	6,403	137,9	6,474	942,93	5345
15:56:21	316,424	163,8	531,3	3381,914	6,403	137,9	6,474	942,93	5345
15:56:31	316,089	163,5	531,3	3382,301	6,405	137,9	6,475	942,93	5284
15:56:41	315,525	163,5	531,3	3382,301	6,405	137,9	6,475	942,93	5284
15:56:51	315,062	163,5	531,3	3382,301	6,405	137,9	6,475	942,93	5284
15:57:01	314,747	163,5	531,3	3382,301	6,405	137,9	6,475	942,93	5284
15:57:11	315,636	163,5	531,3	3382,301	6,405	137,9	6,475	942,93	5284
15:57:21	315,749	163,5	531,3	3382,301	6,405	137,6	6,476	942,93	5352
15:57:31	315,863	163,5	531,3	3382,301	6,405	137,6	6,476	942,93	5352
15:57:41	315,976	163,5	531,3	3382,301	6,405	137,6	6,476	942,93	5352
15:57:51	316,089	163,5	531,3	3382,301	6,405	137,6	6,476	942,93	5352
15:58:01	316,203	163,5	531,3	3382,301	6,405	137,6	6,476	942,93	5352
15:58:11	316,379	163,5	531,3	3382,301	6,405	137,6	6,476	942,93	5352
15:58:21	316,580	163,5	531,3	3382,301	6,405	137,6	6,476	942,93	5352
15:58:31	316,760	163,5	531,3	3382,301	6,405	137,6	6,476	942,93	5352
15:58:41	316,939	163,5	531,3	3382,301	6,405	137,6	6,476	942,93	5352
15:58:51	317,119	163,5	531,3	3382,301	6,405	137,6	6,476	942,93	5352
15:59:01	317,298	163,2	531,3	3382,592	6,406	137,6	6,476	942,93	5305
15:59:11	317,478	163,2	531,3	3382,592	6,406	137,6	6,476	942,93	5305
15:59:21	317,591	163,2	531,3	3382,592	6,406	137,8	6,475	942,93	5258
15:59:31	317,676	163,2	531,3	3382,592	6,406	137,8	6,475	942,93	5258
15:59:41	317,762	163,2	531,3	3382,592	6,406	137,8	6,475	942,93	5258
15:59:51	317,848	163,2	531,3	3382,592	6,406	137,8	6,475	942,93	5258
16:00:01	317,934	163,2	531,6	3383,310	6,407	137,8	6,476	942,93	5259
16:00:11	318,020	163,2	531,6	3383,310	6,407	137,8	6,476	942,93	5259
16:00:21	317,776	163,2	531,6	3383,310	6,407	137,8	6,476	942,93	5259
16:00:31	317,417	163,2	531,6	3383,310	6,407	137,8	6,476	940,38	5245
16:00:41	317,059	163,2	531,6	3383,310	6,407	137,8	6,476	940,38	5245
16:00:51	316,700	163,2	531,6	3383,310	6,407	137,8	6,476	943,38	5262
16:01:01	316,668	163,2	531,6	3383,310	6,407	137,8	6,476	943,38	5262
16:01:11	316,783	163,2	531,6	3383,310	6,407	137,8	6,476	940,64	5246
16:01:21	316,897	163,2	531,6	3383,310	6,407	137,8	6,476	943,66	5263
16:01:31	317,012	163,2	531,6	3383,310	6,407	137,8	6,476	943,66	5263
16:01:41	317,126	163,2	531,6	3383,310	6,407	137,8	6,476	943,66	5263
16:01:51	317,240	163,2	531,9	3384,094	6,408	137,8	6,477	943,66	5264
16:02:01	317,915	163,2	531,9	3384,094	6,408	137,8	6,477	943,66	5264
16:02:11	318,682	163,2	531,9	3384,094	6,408	137,8	6,477	943,66	5264
16:02:21	319,172	163,2	531,9	3384,094	6,408	137,8	6,477	943,66	5264
16:02:31	319,532	163,2	531,9	3384,094	6,408	137,8	6,477	943,66	5264
16:02:41	319,771	163,2	531,9	3384,094	6,408	137,8	6,477	943,66	5264
16:02:51	320,009	163,2	531,9	3384,094	6,408	137,8	6,477	946,37	5279
16:03:01	320,248	163,2	531,9	3384,094	6,408	137,8	6,477	943,73	5264
16:03:11	320,602	163,2	531,9	3384,094	6,408	137,8	6,477	946,49	5280
16:03:21	321,041	163,2	531,9	3384,094	6,408	137,8	6,477	943,94	5266
16:03:31	321,215	163,2	531,9	3384,094	6,408	137,8	6,477	943,94	5266
16:03:41	321,043	163,2	531,9	3384,094	6,408	137,8	6,477	943,94	5266
16:03:51	320,871	163,2	531,9	3384,094	6,408	137,8	6,477	943,94	5266
16:04:01	320,699	163,4	531,9	3383,840	6,407	137,8	6,477	943,94	5307
16:04:11	320,527	163,4	531,9	3383,840	6,407	137,8	6,477	943,94	5307
16:04:21	320,356	163,4	531,9	3383,840	6,407	137,8	6,477	943,94	5307
16:04:31	320,281	163,4	531,9	3383,840	6,407	137,8	6,477	941,98	5296
16:04:41	320,319	163,4	531,9	3383,840	6,407	137,8	6,477	941,98	5296
16:04:51	320,357	163,7	531,9	3383,491	6,405	137,8	6,476	941,98	5352
16:05:01	320,395	163,7	531,9	3383,491	6,405	137,8	6,476	941,98	5352
16:05:11	320,433	164,0	532,2	3384,171	6,406	137,8	6,477	941,98	5403
16:05:21	320,471	164,0	532,2	3384,171	6,406	137,8	6,477	941,98	5403
16:05:31	320,508	164,0	532,2	3384,171	6,406	137,8	6,477	945,85	5425
16:05:41	320,694	164,0	532,2	3384,171	6,406	137,8	6,477	945,85	5425
16:05:51	320,946	164,0	532,5	3384,993	6,407	137,8	6,478	945,85	5426
16:06:01	321,197	164,0	532,5	3384,993	6,407	137,8	6,478	945,85	5426
16:06:11	321,004	164,3	532,5	3384,688	6,406	137,8	6,478	945,85	5475
16:06:21	320,799	164,3	532,5	3384,688	6,406	137,8	6,478	945,85	5475
16:06:31	320,593	164,3	532,5	3384,688	6,406	137,8	6,478	945,85	5475
16:06:41	320,388	164,3	532,5	3384,688	6,406	138,1	6,477	945,85	5409
16:06:51	320,158	164,3	532,5	3384,688	6,406	138,1	6,477	949,16	5427
16:07:01	319,891	164,3	532,5	3384,688	6,406	138,1	6,477	949,16	5427
16:07:11	319,624	164,3	532,5	3384,688	6,406	138,4	6,476	949,16	5356
16:07:21	319,357	164,6	532,5	3384,347	6,404	138,4	6,476	949,16	5411
16:07:31	319,288	164,6	532,5	3384,347	6,404	138,4	6,476	949,16	5411
16:07:41	319,247	164,6	532,5	3384,347	6,404	138,4	6,476	949,16	5411
16:07:51	319,207	164,6	532,5	3384,347	6,404	138,4	6,476	952,07	5428
16:08:01	319,166	164,6	532,5	3384,347	6,404	138,4	6,476	952,07	5428
16:08:11	319,125	164,6	532,5	3384,347	6,404	138,4	6,476	952,07	5428
16:08:21	319,085	164,6	532,5	3384,347	6,404	138,6	6,475	952,07	5378
16:08:31	319,425	164,6	532,5	3384,347	6,404	138,6	6,475	952,07	5378
16:08:41	320,048	164,6	532,5	3384,347	6,404	139,0	6,474	952,07	5296

Modelação Computacional da Central de Termoeletrica de Sines

16:08:51	320,477	164,6	532,5	3384,347	6,404	139,0	6,474	952,07	5296
16:09:01	320,803	164,6	532,5	3384,347	6,404	139,0	6,474	952,07	5296
16:09:11	321,129	164,6	532,5	3384,347	6,404	139,0	6,474	952,07	5296
16:09:21	321,150	164,6	532,5	3384,347	6,404	139,0	6,474	952,07	5296
16:09:31	321,081	164,6	532,5	3384,347	6,404	139,0	6,474	952,07	5296
16:09:41	321,012	164,3	532,5	3384,637	6,405	139,0	6,474	952,07	5249
16:09:51	320,943	164,3	532,5	3384,637	6,405	139,0	6,474	952,07	5249
16:10:01	320,874	164,3	532,5	3384,637	6,405	139,0	6,474	952,07	5249
16:10:11	320,805	164,3	532,2	3383,818	6,404	139,0	6,473	952,07	5248
16:10:21	320,558	164,1	532,2	3384,123	6,405	139,0	6,474	949,47	5184
16:10:31	320,137	164,1	532,2	3384,123	6,405	139,0	6,474	949,47	5184
16:10:41	319,506	164,1	532,2	3384,123	6,405	138,6	6,475	949,47	5273
16:10:51	319,196	164,1	532,2	3384,123	6,405	138,6	6,475	949,47	5273
16:11:01	319,016	164,1	532,2	3384,123	6,405	138,6	6,475	949,47	5273
16:11:11	318,836	164,1	531,9	3383,322	6,404	138,1	6,475	946,57	5360
16:11:21	318,656	163,8	531,9	3383,627	6,406	138,1	6,476	946,57	5311
16:11:31	318,476	163,8	531,9	3383,627	6,406	138,1	6,476	946,57	5311
16:11:41	318,311	163,8	531,9	3383,627	6,406	138,1	6,476	946,57	5311
16:11:51	318,160	163,8	531,9	3383,627	6,406	138,1	6,476	946,57	5311
16:12:01	318,009	163,8	531,9	3383,627	6,406	138,1	6,476	946,57	5311
16:12:11	317,859	163,5	531,9	3383,940	6,407	138,1	6,476	946,57	5260
16:12:21	317,708	163,5	531,9	3383,940	6,407	138,1	6,476	944,06	5246
16:12:31	317,558	163,5	531,9	3383,940	6,407	138,1	6,476	944,06	5246
16:12:41	317,428	163,5	531,9	3383,940	6,407	138,1	6,476	944,06	5246
16:12:51	317,363	163,5	531,9	3383,940	6,407	138,1	6,476	944,06	5246
16:13:01	317,298	163,3	531,9	3384,252	6,408	137,9	6,477	944,06	5252
16:13:11	317,233	163,3	531,9	3384,252	6,408	137,9	6,477	944,06	5252
16:13:21	317,168	163,3	531,9	3384,252	6,408	137,9	6,477	944,06	5252
16:13:31	317,103	163,3	531,9	3384,252	6,408	137,9	6,477	944,06	5252
16:13:41	317,038	163,3	531,9	3384,252	6,408	137,9	6,477	944,06	5252
16:13:51	317,074	163,3	531,9	3384,252	6,408	137,9	6,477	944,06	5252
16:14:01	317,160	163,3	531,9	3384,252	6,408	137,9	6,477	944,06	5252
16:14:11	317,246	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,9	6,477	944,06	5211
16:14:21	317,332	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,9	6,477	942,85	5205
16:14:31	317,418	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,6	6,478	942,85	5264
16:14:41	317,504	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,6	6,478	942,85	5264
16:14:51	317,549	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,6	6,478	942,85	5264
16:15:01	317,578	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,6	6,478	942,85	5264
16:15:11	317,607	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,6	6,478	941,46	5257
16:15:21	317,635	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,6	6,478	941,46	5257
16:15:31	317,664	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,6	6,478	941,46	5257
16:15:41	317,693	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,6	6,478	941,46	5257
16:15:51	317,669	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,6	6,478	941,46	5257
16:16:01	317,627	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,6	6,478	941,46	5257
16:16:11	317,585	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,6	6,478	941,46	5257
16:16:21	317,543	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,6	6,478	941,46	5257
16:16:31	317,501	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,6	6,478	941,46	5257
16:16:41	317,459	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,6	6,478	941,46	5257
16:16:51	317,509	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,6	6,478	941,46	5257
16:17:01	317,609	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,6	6,478	941,46	5257
16:17:11	317,709	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,6	6,478	941,46	5257
16:17:21	317,809	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,6	6,478	941,46	5257
16:17:31	317,909	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,6	6,478	941,46	5257
16:17:41	318,009	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,6	6,478	941,46	5257
16:17:51	318,132	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,6	6,478	941,46	5257
16:18:01	318,266	163,0	531,9	3384,507	6,409	137,6	6,478	941,46	5257
16:18:11	318,392	163,0	532,2	3385,393	6,410	137,6	6,479	941,46	5258
16:18:21	318,458	163,0	532,2	3385,393	6,410	137,6	6,479	941,46	5258
16:18:31	318,525	163,0	532,2	3385,393	6,410	137,6	6,479	941,46	5258
16:18:41	318,592	163,0	532,2	3385,393	6,410	137,6	6,479	941,46	5258
16:18:51	318,658	163,0	532,2	3385,393	6,410	137,6	6,479	941,46	5258
16:19:01	318,725	163,0	532,2	3385,393	6,410	137,6	6,479	941,46	5258
16:19:11	318,792	163,0	532,6	3386,413	6,411	137,6	6,481	941,46	5259
16:19:21	319,132	163,3	532,6	3386,159	6,410	137,6	6,480	943,16	5310
16:19:31	319,320	163,3	532,6	3386,159	6,410	137,6	6,480	943,16	5310
16:19:41	319,088	163,3	532,6	3386,159	6,410	137,6	6,480	943,16	5310
16:19:51	318,856	163,3	532,6	3386,159	6,410	137,6	6,480	943,16	5310
16:20:01	318,624	163,5	532,6	3385,848	6,409	137,9	6,479	943,16	5300
16:20:11	318,533	163,5	532,6	3385,848	6,409	137,9	6,479	943,16	5300
16:20:21	318,722	163,5	532,6	3385,848	6,409	137,9	6,479	943,16	5300
16:20:31	318,911	163,5	532,6	3385,848	6,409	137,9	6,479	943,16	5300
16:20:41	319,101	163,5	532,6	3385,848	6,409	137,9	6,479	946,59	5320
16:20:51	319,290	163,5	532,6	3385,848	6,409	137,9	6,479	943,81	5304
16:21:01	319,428	163,5	532,6	3385,848	6,409	137,9	6,479	943,81	5304
16:21:11	319,478	163,5	532,6	3385,848	6,409	137,9	6,479	946,60	5320
16:21:21	319,528	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:21:31	319,578	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:21:41	319,628	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364

Modelação Computacional da Central de Termoelétrica de Sines

16:21:51	319,678	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:22:01	319,729	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:22:11	319,696	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:22:21	319,596	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:22:31	319,496	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:22:41	319,396	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:22:51	319,295	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:23:01	319,195	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:23:11	319,065	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:23:21	318,913	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:23:31	318,760	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:23:41	318,608	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:23:51	318,468	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:24:01	318,455	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:24:11	318,442	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:24:21	318,429	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:24:31	318,415	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:24:41	318,402	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:24:51	318,389	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:25:01	318,452	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:25:11	318,566	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:25:21	318,680	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:25:31	318,795	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:25:41	318,909	163,8	532,6	3385,572	6,408	137,9	6,479	946,60	5364
16:25:51	319,023	163,5	532,6	3385,848	6,409	137,9	6,479	946,60	5320
16:26:01	318,936	163,5	532,6	3385,848	6,409	137,9	6,479	943,89	5304
16:26:11	318,721	163,5	532,3	3385,081	6,408	137,9	6,478	943,89	5303
16:26:21	318,507	163,5	532,3	3385,081	6,408	137,9	6,478	943,89	5303
16:26:31	318,292	163,5	532,3	3385,081	6,408	137,9	6,478	943,89	5303
16:26:41	318,077	163,5	532,3	3385,081	6,408	137,9	6,478	943,89	5303
16:26:51	317,862	163,3	532,3	3385,393	6,409	137,9	6,479	943,89	5253
16:27:01	317,490	163,3	532,3	3385,393	6,409	137,9	6,479	943,89	5253
16:27:11	317,307	163,3	532,3	3385,393	6,409	137,6	6,479	943,89	5313
16:27:21	317,123	163,3	532,3	3385,393	6,409	137,6	6,479	940,31	5293
16:27:31	316,939	163,0	532,3	3385,719	6,410	137,6	6,480	940,31	5240
16:27:41	316,755	163,0	532,3	3385,719	6,410	137,6	6,480	940,31	5240
16:27:51	316,594	163,0	532,3	3385,719	6,410	137,6	6,480	940,31	5240
16:28:01	316,648	163,0	532,3	3385,719	6,410	137,6	6,480	940,31	5240
16:28:11	316,701	163,0	532,3	3385,719	6,410	137,6	6,480	940,31	5240
16:28:21	316,755	163,0	532,3	3385,719	6,410	137,6	6,480	940,31	5240
16:28:31	316,808	163,0	532,3	3385,719	6,410	137,6	6,480	940,31	5240
16:28:41	316,861	163,0	532,3	3385,719	6,410	137,6	6,480	940,31	5240
16:28:51	316,915	163,0	532,3	3385,719	6,410	137,6	6,480	940,31	5240
16:29:01	316,951	163,0	532,3	3385,719	6,410	137,6	6,480	940,31	5240
16:29:11	316,980	163,0	532,3	3385,719	6,410	137,6	6,480	940,31	5240
16:29:21	317,008	162,7	532,3	3386,023	6,411	137,6	6,480	940,31	5191
16:29:31	317,037	162,7	532,3	3386,023	6,411	137,6	6,480	940,31	5191
16:29:41	317,065	162,7	532,3	3386,023	6,411	137,6	6,480	940,31	5191
16:29:51	317,094	162,7	532,3	3386,023	6,411	137,6	6,480	940,31	5191
16:30:01	317,317	162,7	532,3	3386,023	6,411	137,6	6,480	940,31	5191